

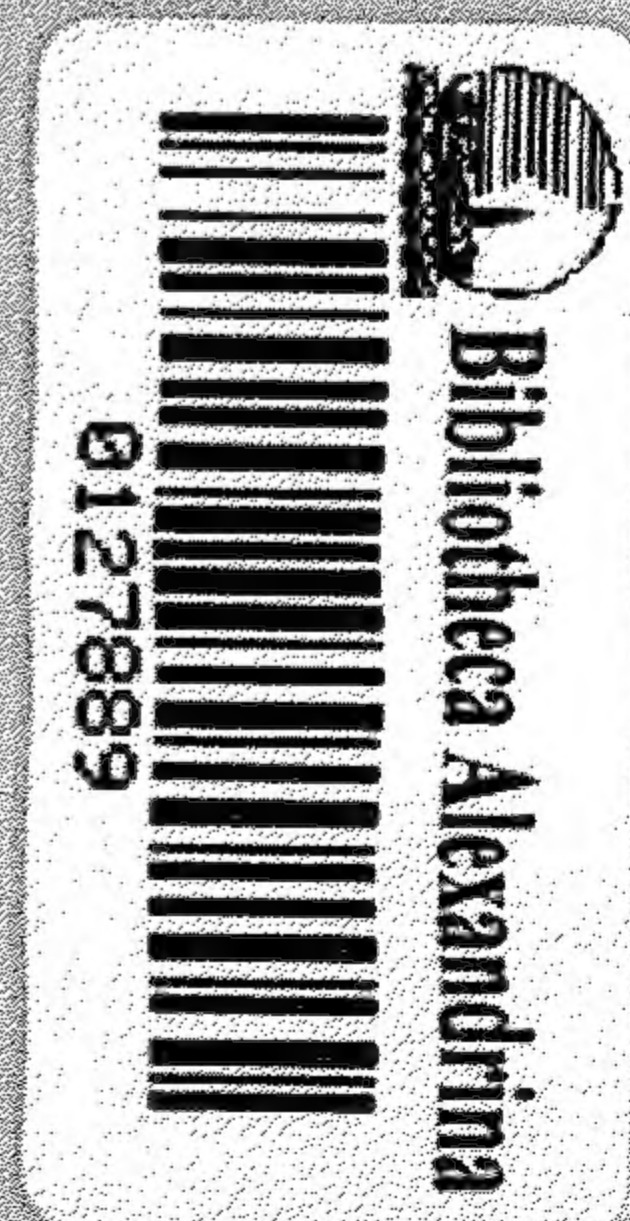
الألف
كتاب
الكتاب
٣٠٨

أندرية سكوت جوهرة الطبيعة

ترجمة: هاشم أحمد محمد

مراجعة: علي يوسف علي

المدينة المصرية العامة للكتاب



الألف كتاب الثاني

نافذة على الثقافة العالمية

الإشراف العام

الدكتور / سمير سرعان

رئيس مجلس الإدارة

رئيس التحرير

أحمد صليحة

مدير التحرير

عزت عبد العزيز

سكرتير التحرير

علياء أبو شادي

المشرف الفني العام

محسنة عطية

جَوْهَرُ الطَّبِيعَةِ

تَحْرِيرُ

أَنْدَرُو سَكُوتْ

تَرْجُومَةُ

هَاشِمُ أَحْمَدُ مُحَمَّدٌ

مُرَاجَعَةُ

م . عَلِي يُونُسُ عَلِي



المِيزَةُ النَّاصِرِيَّةُ الْعَامَّةُ لِلْكِتَابِ

هذه هي الترجمة العربية الكاملة لكتاب

BASIC NATURE

by

ANDREW SCOTT

الفهرس

الموضوع	الصفحة
مقدمة الطبعة العربية	٧
افتتاحية	٩
الفصل الأول	
الزمكن	١١
الفصل الثانى	
الكلّة	٢٢
الفصل الثالث	
القوى	٢٩
الفصل الرابع	
الجانذبة	٣٤
الفصل الخامس	
الطاقّة	٤٠
الفصل السادس	
الجسيمات	٤٨
الفصل السابع	
الكم (الكوانتّا)	٥٧

الموضوع	الصفحة
الفصل الثامن	
الخلق	٧٠
الفصل التاسع	
الذرات	٧٥
الفصل العاشر	
الانثروبيا	٩٤٠
الفصل الحادى عشر	
التفاعلات	٩٨
الفصل الثانى عشر	
الاتزان	١١٥
الفصل الثالث عشر	
الحياة	١٢٥
الفصل الرابع عشر	
التطور	١٥٢
الفصل الخامس عشر	
المخ	١٦٤
الفصل السادس عشر	
اشياء غامضة	١٧٢
هوامش	١٧٨
المصطلحات	١٨٣

مقدمة الطبعة العربية

بسم الله والصلاة والسلام على رسول الله
القارئ الكريم

يدعوك مؤلف الكتاب الذي نضعه بين يديك الى أن تصحبه في جولة أشبه بالجولات السياحية ، يطوف بك أرجاء العلم في صورته الحديثة ، ويقف خلالها بك عند ستة عشر ملحقاً من ملامحه . وهو في خلال هذه الفزهة لا يدخر وسعاً في تبسيط المفاهيم وسلاسة العرض ، خاصة وهو يعلم أنه يعرض لما قد يكون متناقضاً مع بديهيات الإنسان التي درج عليها ، مما يجعل عملية التبسيط أشق ، لا يستطيعها إلا من أوتي موهبة خاصة ، نرى أن للمؤلف منها حظاً وافراً .

لقد شهد العلم في القرن العشرين ثلاث ثورات ، قلبت الكثير من مفاهيمه عن الكون والطبيعة . وليست الثورة العلمية كالفتح العلمي . فالأخير هو خطوة لها خطرهما ، لكنها نتاج السير في درب مطروق ومألوف ، كالكتشاف الصفات الوراثية والحلزونات المزدوج في مجال البيولوجيا . ولكن الثورة العلمية أمر آخر تماماً ، فهي تغيير في المفاهيم الأساسية والنظرة البديهية ، أو كما يسمى أحياناً : « تغيير في الباراديم » ، ويقصد بهذه الكلمة نمط التفكير في حد ذاته .

الثورة الأولى هي النظرية الكمية ، ومؤسسها هو ماكس بلانك ، وقد وضعها في بداية القرن العشرين ، وهي تغير من مفهومنا البديهي عن الطاقة ، كسيل متدفق من الموجات ، لتجعلها تتابعاً من وحدات مستقلة ، كشأن الجسيمات ، تسمى الوحدة منها « الكم quantum » ثم بين دي برولي أن الجسيمات بدورها تتمتع بخصائص موجية ، فكانت هذه الاكتشافات أول معول يهدم صرح التفكير التقليدي .

ثم تولى علماء في العشرينات من هذا القرن تجديد شباب النظرية الكمية ، منهم بور وهايزنبرج ، وأعطوا عملهم اسماً مستحدثاً ،

« ميكانيكا الكم » ، ثورة من داخل ثورة ، تعرضوا فيها الى تفسير بديهيتين أخريين . البديهية الاولى هي النظرة التحديدية للعلم ، والاستعاضة عنها بما يعرف بمبدأ « عدم اليقين » . أما البديهية الثانية فهو التمييز بين الفراغ الذي يوجد فيه كوننا ، وبين الخواء المطلق ، ففراغ كوننا لكس خواء ، بل يهوج بتفاعلات عرضية تفعل بالكون الأعاجيب .

أما الثورة الثانية فهي النسبية لأينشتين ، وقد وضعت بدورها في مطلع القرن ، بشقيها : الخاصة والعامة ، الاولى قلبت المفاهيم البديهية للانسان عن علاقة المكان بالزمن ، بضمهما في وحدة رباعية الأبعاد تعرف بالزمكان والثانية عن تصوره للفراغ الذي يشغله كوننا ، من حيث كونه قابلا للطى والتكور ، تأثراً بجاذبية ما فيه من اجرام .

وسوف يوفى كتابنا هذه الموضوعات حقها ، أما الثورة الثالثة فسوف يمر عليها مر الكرام ، لكونها خارجة عن نطاقه ، فهي تستحق كتابا خاصا ، قد يكون اللقاء القادم بيننا باذن الله . انها ما تعرف بثورة « الهولوية » Chaos التي شاعت ترجمتها خطأ في العربية بالفوضى ، وهي آخر صيحة في الثورات العلمية واحداثها اذ انها ظهرت في النصف الثاني من القرن . انها ببساطة ، التحليل العلمى لما كان يظن فوضويا وعشوائيا من ظواهر الطبيعة .

بعد ذلك ينبرى الكتاب لتوضيح المفاهيم الأساسية لعلوم الكيمياء والبيولوجيا ، فيعرض لما ينبغى لكل مثقف ان يلم به . واذا كانت المفاهيم لا تزال مستعصية على الفهم ، فاننا نحيل القارئ الكريم الى كتاب « افكار العلم العظيمة » ، من اصدارات هيئة الكتاب أيضا ، فهو من كتابنا هذا بمثابة المرحلة التمهيدية .

ونسأل الله ان نكون قد وفقنا الى اثراء المكتبة العربية بما يليق بها في مواكبة الحركة العلمية كما ينبغى .

والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته .

المراجع

مهندس / على يوسف على

افتتاحية

هذه نظرة عامة موجزة لأساسيات العلم ، الفرض منها نقل جوهر وجهة النظر العلمية عن الطبيعة بشكل موجز قدر الامكان .

ربما يكون مصير كتب العلوم الميسرة في غالب الأحوال بعد أن تشتري في موجة من الحماس أن تهمل بعد ذلك بصورة مخيبة للآمال ، طالما وجدت هناك أفكار ومفاهيم صعبة دون أن تتناول بالشرح والتبسيط . ويهدف هذا الكتاب الى شرح أهم المفاهيم الأساسية عن العلم ، مع تقديم وصف موجز مفيد عن العلم في حد ذاته ، وهو يعد قراءة أيضا لأي بحث متعمق لمن يرغبون الخوض فيه ، أو ربما تدعو الحاجة الى الاهتمام به . وبالنسبة لهؤلاء القراء الذين لديهم خلفية عن الموضوعات المطروحة ، سوف يقدم لهم الكتاب موضوعات موجزة مفيدة ، وربما مفاهيم جديدة عن الموضوعات التي يعرفون عنها القدر القليل .

وأملى أن يكون هذا الكتاب مفيدا ، وعلى وجه الخصوص لغير العلماء المهتمين بالعلوم ، وأيضا لطلبة المدارس والجامعات .

ولا يستهدف هذا الكتاب شرح تاريخ العلوم ، كما لا يستهدف أيضا الدخول في وجهات نظر متعمقة عن عملية العلم ، أو فلسفته ، أو الدخول في عقول وطرق العلماء الذين أوردنا نتائج أبحاثهم . فهذا الكتاب يبحث عن تقديم أفكار ومعلومات بشكل موجز للأسس الجوهرية للنظرية ، واكتشاف ما يعزز فهمنا منها عن الطبيعة .

وسوف أشجع القراء على قراءة الكتاب من البداية وحتى النهاية ،
بدلاً من الانتقال من فصل لآخر بشكل شارد . . وسوف أشجعهم أيضاً
على أن يجنبوا كل المعارف والتصورات السابقة عن العلم في عقولهم
بعض الوقت . فيجب أن يتيحوا للكتاب الفرصة ليقدّم لهم وجهة نظر
حية ، من خلال كشفه بشكل منتظم لأساسيات العلم .

المؤلف

أندرو سكوت

الزمن-مكان

SPACETIME

هناك شيء غريب بالنسبة للمكان ، وهناك شيء غريب بالنسبة للزمن . هذا ما يخبرك عنه ألبرت آينشتاين ، اذا قرأت تفسيره المبسط عن النسبية ، الذى نشر للمرة الأولى عام ١٩١٦ ، والذى تستطيع صفحاته أن تدخل صوت ذلك العبقرى الراحل فى عقلك عبر حاجز الزمان والمكان . الا أنه يمكننا فى هذا الفصل القصير أن نستكشف بعضاً من أبعاد الموضوع الذى يصف غرابة الشيء الذى اكتشفه آينشتاين فى تركيبية المكان والزمان . وقد أدى هذا الاكتشاف الى اتحاد هاتين الظاهرتين اللتين يبدو أنهما متمايزتان ، فى ذلك الهجين الذى نطلق عليه هذه الأيام الزمن-مكان Spacetime .

ولا بد أن نقر من البداية أن خبرتنا المحدودة جداً عن المكان والزمان تصور لنا اعتقادات مضللة عنهما ، وهو ما يعتبر اعتقادات زائفة بغض النظر عن مدى الوضوح أو البداهة اللتين تبدوان عليها ، والسبب الرئيسى لهذا الخداع هو ذلك البطء الشديد جداً للأحداث التى نراها ونعيشها بشكل مباشر ، بالمقارنة بالسرعات الرهيبة التى يمكن أن تصل اليها أشياء أخرى . فنحن نتلقى خبراتنا اليومية عن سيمفونية الكون من خلال الجانب البطيء من حركاته ، وهذا ما يعطى صورة مضللة تماماً عن التناغم الحقيقى للكون .

فاذا ركبنا سيارة انطلقت بنا بسرعة ٥٠ ميلاً فى الساعة ، وتخططنا سيارة أخرى ، وبفرض أننا استطعنا حساب السرعة التى تخطتنا بها تلك السيارة ، فكانت ٣٠ ميلاً فى الساعة ، أى أن سرعتها بالنسبة لنا

هي ٣٠ ميلا في الساعة ، فنستطيع ان نقرر بثقة ان سرعتها بالنسبة للأرض كانت ٣٠ + ٥٠ ، أي ٨٠ ميلا في الساعة ، لكنها في الواقع ليست كذلك ! لقد كانت الاجابة قريبة جدا من هذه القيمة ، قريبة جدا بحيث لا نطمح في اكتشاف الفرق . فالسرعة الحقيقية بالنسبة للأرض ستكون مختلفة قليلا عن السرعة التي توقعناها بشكل ساذج حينما أضفنا سرعة السيارة التي تخطتنا الى السرعة النسبية للأرض . ذلك ان السرعات ، او بصورة أدق « متجهات السرعات » *velocities* لا تضاف في الواقع الى بعضها ببساطة كهذا . لكننا خدعنا بهذا الاعتقاد ، لأنه عند هذه السرعات البطيئة تصبح الفروقات صغيرة جدا ، لكن لو كان باستطاعتنا التحرك بشكل أسرع بحيث نقرب من سرعة الضوء ، لبدا الفرق واضحا تماما ، ولاكتسبنا قدرة حدسية أفضل عن الطبيعة الحقيقية للمكان والزمان ، وايضا الزمكان ، كلما قدنا سيارتنا او سافرنا في القطارات والطائرات . فعندما تبدأ الأشياء في التحرك بالنسبة لبعضها البعض عند سرعات قريبة نسبيا من سرعة الضوء ، تحدث أشياء تتحدى فطرتنا السليمة .

كيف نستطيع ان نعلم وان نحاول فهم هذه الأشياء الغريبة التي تحدث ، عندما نتحرك بسرعات قريبة من سرعة الضوء ؟ الخطوة الأولى في هذا الفهم هي ادراك حقيقة أننا جميعا نتحرك بالفعل بسرعة الضوء بالنسبة لشيء نعيشه طوال الوقت - فنحن نتحرك بسرعة الضوء بالنسبة للضوء الذي يندفع من حولنا ! لذا يمكننا استخدام الضوء « كشيء » يتحرك أمامنا بسرعة الضوء ، أو نبدو نحن متحركين بالنسبة له بسرعة الضوء ، لاختبار فروضنا عن المكان والزمن والسرعات .

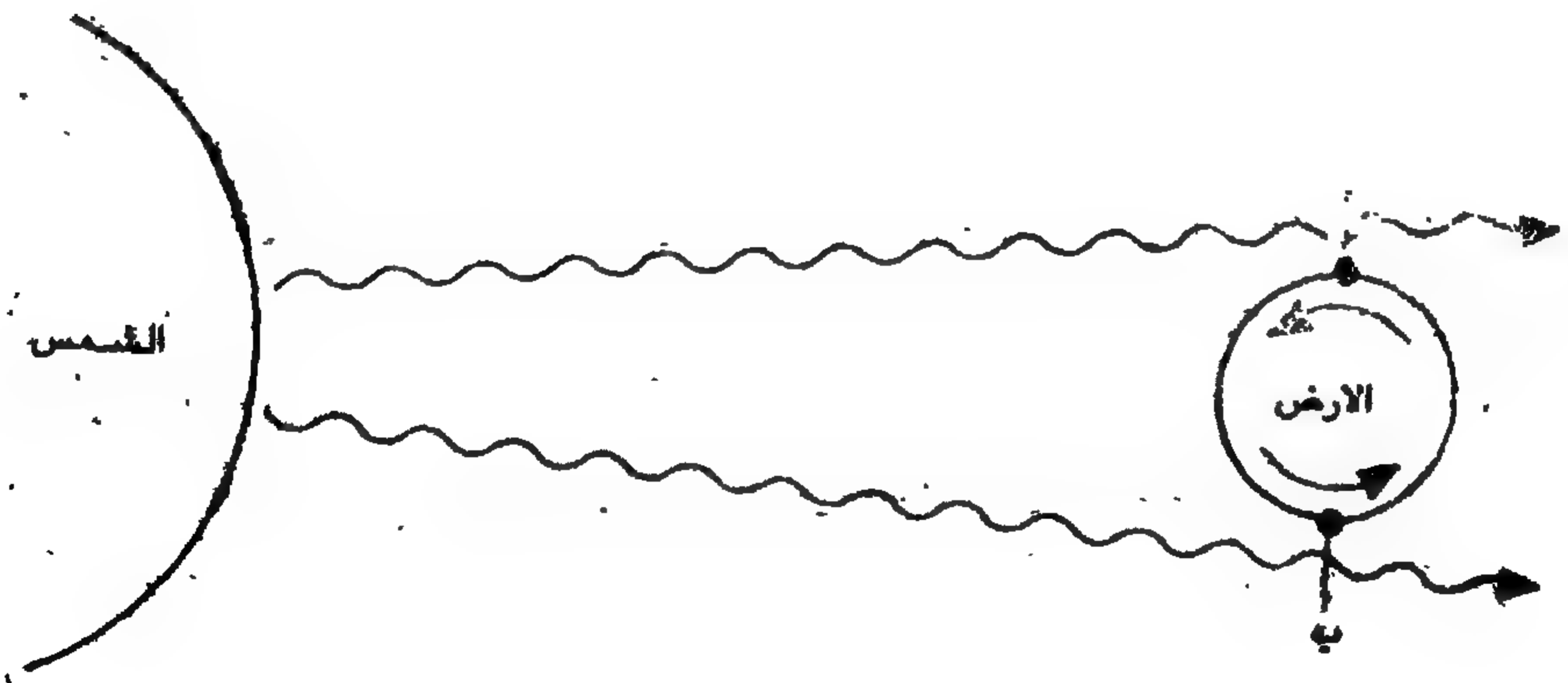
لنعد الآن الى سيارتنا المنطلقة بسرعة ٥٠ ميلا في الساعة ، ولنشغل انفسنا بقياس السرعة التي تتخطانا بها الأشياء الأخرى ، فسيارة تتخطانا بسرعة ٣٠ ميلا في الساعة أسرع منا ، نتوقع ان تصبح سرعتها بالنسبة للأرض ٣٠ + ٥٠ ، أي ٨٠ ميلا في الساعة . وبالنسبة لطائرة نفائة تخطتنا بسرعة ٦٠٠ ميل في الساعة ، نتوقع ان تصبح سرعتها بالنسبة للأرض ٦٥٠ ميلا في الساعة ، ولو كان جهاز قياس السرعة التخلي الذي لدينا من التعقيد بحيث يمكنه بدقة قياس سرعة قمر اصطناعي يشق عنان السماء فوق رؤوسنا بسرعة ٢٠٠٠٠ ميل في الساعة بالنسبة لنا ، سنفترض ان سرعته ٢٠٠٥٠ ميلا في الساعة بالنسبة للأرض ، وأخيرا ، فعندما نقيس السرعة التي يتخطانا بها ضوء غروب الشمس ، سوف نجده يندفع من حولنا بسرعة تصل ٦٧٠

مليون ميل في الساعة ، ومن ثم فالتسا توقع أن أى واحد يقف على قارعة الطريق ، سوف يجد أن سرعة الضوء المتحرك في اتجاهه أكبر بـ ٥٠ ميلا ؛ ومع ذلك فالأمر هنا يختلف . فالأشخاص الواقفون للرصد على قارعة الطريق ، سوف يجدون الضوء يمر من أمامهم بنفس السرعة بالضبط التى يمر بها من أمامنا ! فكيف نستطيع سويا — فى حالة الضوء بالذات — أن نصل إلى نفس الرقم بالضبط ، رغم كوننا فى سيارتنا ونتحرك مع الضوء بسرعة ٥٠ ميلا فى الساعة ؟ ماذا حدث للفرق ٥٠ ميلا فى الساعة فى هذه الحالة ؟ وأين ذهب ؟

قبل التعامل مع هذا اللغز يجب أن أتوه بالظاهرة التى تسببت فيه — وهو ثبات سرعة الضوء بغض النظر عن كيفية تحرك من يقوم بقياسه ، وهى ظاهرة حقيقية ومؤكدة تماما ، وليست ضربا من التخمينات ، انها الظاهرة التى قادت ألبرت آينشتاين الى استنباط نظريته فى « النسبية » (١) ، والتى تراكمت تنبؤاتها بصورة تجريبية ، لى تغيير وجهة نظرنا عن المكان والزمان بصورة جذرية . إن مجموعتين من الأجهزة قادرتان على قياس سرعة الضوء سوف تسجلان دائما نفس السرعة بالضبط ، حتى لو كانتا ، على سبيل المثال ، تقيسان سرعة الضوء الصادر من الشمس ، وهما فى مواجهة بعضهما البعض على خط الاستواء من الأرض ، بحيث انه بسبب دوران الأرض ، تتحرك احدهما نحو الشمس ، وتتحرك الأخرى بنفس السرعة بعيدا منها (انظر شكل ١ — ١) . ومن الواضح أن هذا يتحدى توقعات فطرتنا السليمة ، التى تخبرنا أن سرعة الضوء التى سجلتها مجموعة الأجهزة الأولى ، يجب أن تكون أكبر من السرعة التى سجلتها مجموعة الأجهزة الأخرى الأخرى . وفى كل القياسات الأخرى تكون النتائج متماثلة ، فسرعة الضوء واحدة دائما بغض النظر عن الحركة التى يتحركها جهاز القياس . وفى الواقع ، فإن السرعة تتغير قليلا وتعتمد فى ذلك على « الوسط » الذى يمر الضوء خلاله — فالضوء يتحرك بصورة أسرع قليلا خلال الفضاء القريب من الخواء على سبيل المثال ، من سرعته خلال الهواء . ويرغم هذا ، فإن النقطة الأساسية المصيرة تظل هى أن سرعة الضوء خلال أى وسط معين ، تكون هى نفسها

عند قياسها بواسطة مجموعتين من الأجهزة المتحركة بالنسبة لبعضهما البعض .

ولم يكن البرت أينشتاين هو أول من اكتشف لغز ثبات سرعة الضوء ، فقد تنبأ به الفيزيائي الاسكتلندي العظيم جيمس كلارك ماكسويل في ستينيات القرن التاسع عشر ، حين توصل الى أن الضوء ينتقل خلال الفضاء كاضطراب موجي وبسرعة محددة ثابتة ، وقد توصل الى هذه النتيجة من طريق الحسابات النظرية . وفي عام ١٨٨٧ ، تأكدت النتيجة النظرية من خلال تجربة قام بها الفيزيائي الألماني / الأمريكي البرت ميكلسون Albert Michelson والكيميائي الأمريكي ادوارد مورلي Edward Morley . وقد كانت تجربة ميكلسون - مورلي الشهيرة هذه ، وهي التي بحثت عن دلالة لتأثر سرعة موجات الضوء المنتقلة في اتجاهات مختلفة بحركة الأرض ، مشابهة في الأساس لما هو مشروح سابقا ، مع خلاف في التفاصيل التجريبية الدقيقة ؛ إلا أن ميكلسون ومورلي لم يجدوا أي دليل على أي اختلاف في السرعة ، وبذلك أكدوا على ثبات سرعة الضوء ، بغض النظر عن تحرك مصدر الضوء أو الراصدين له .



شكل (١)

وجد أن سرعة الضوء خلال أي وسط لا تتغير بالمرّة عندما يقيسها عدة راصدين .
بغض النظر عن كيفية تحركهم . فالراصدون عند نقطتي ١ و ٢ على خط استواء الأرض
المتوازي ، سوف يقيسون نفس السرعة للضوء الصادر من الشمس .

وبالرغم من أن آينشتين لم يكتشف ثبات سرعة الضوء ، إلا أنه فكر بعمق في اللفظ ، وكان تفكيره بطريقة مختلفة تماماً عن الطريقة التي فكر بها معظم الناس الآخرين . والغموض الرئيسي هو ماذا يحدث للفرق المتوقع في سرعة الضوء ، عندما يقيس راصدون مثلنا في سيارتنا وزملائنا على قارعة الطريق سرعة الضوء القادم من مصدر الشمس ؟ كيف يستطيع راصدان قياس سرعة الضوء ، وتكون النتيجة واحدة ، بالرغم من حقيقة أنها يتحركان بالنسبة لأحدهما الآخر ؟ أحد ردود الفعل الطبيعية لهذا ، هو القول بأن هناك « شيئاً عجيباً وغريباً عن الضوء » . وقد تقترح وجهة نظر أخرى بأن النتيجة يجب أن تكون خاطئة ، بسبب بعض الغلطات الغامضة أو الوهم . لكن آينشتين قبل النتيجة بمعناها الظاهري ، بأن بدأ بفرض أن سرعة الضوء يجب أن تكون هي نفسها بالنسبة لكل الراصدين ، بغض النظر عن حركتهم ، واختبر إلى أين سيقوده هذا الفرض . ومن خلال فرض أنه لا يوجد شيء « غريب عن الضوء » ، فقد اكتشف أن هناك شيئاً غريباً بلا شك عن المكان الذي ينتقل خلاله الضوء ، والزمن الذي يقطعه خلال هذه الرحلة ، « غريب » ، أي مقارنة بما نتوقعه على أساس تجربتنا اليومية .

إن لب المعضلة يكمن في مدلول السرعة ، فكل السرعات تحدد على أنها المسافة التي يتحركها شيء ما في زمن معلوم . والمخرج من صعوباتنا هذه ، هو إدراك أن الشخصين اللذين يتحركان بالنسبة لبعضهما البعض ، يستطيعان قياس نفس القيمة لسرعة الضوء ، إذا كتبت المسافة (أي مقدار المكان) والأزمنة التي يقيسونها متغيرة بعض الشيء . وعندما نضع ثقتنا في ثبات سرعة الضوء ، فهذا يعني أننا يجب أن نفقد ثقتنا في ملاحظتنا اليومية عن الزمان والمكان .

واتضح في النهاية أن الشيء « العجيب » عن الزمان والمكان هو على هذه الصورة : تظهر المسافة أقصر عندما تقاس في اتجاه الحركة ، أي عندما تبدأ الأشياء في التحرك بالنسبة لنا ؛ بينما يظهر الزمن أطول للأشياء المتحركة بالنسبة لنا ، وبمعنى آخر ، بينما تتحرك الأشياء بالنسبة لنا ، تبدو لنا وكأنها تعاني انكماشاً في المكان وتمتدداً في الزمان .

ويستحق هذا مزيداً من التدبر . افترض أننا على متن مركبة فضائية ، ونستطيع أن نختبر بدقة الأحداث الجارية في مركبة فضاء

أخرى تتحرك مبتعدة عنا بجزء ملموس من سرعة الضوء ، مستعينين ببعض أجهزة الاستشعار من بعد . فسوف نعلمنا أجهزتنا أن المركبة الفضائية أصبحت أقصر عما كانت عليه عندما قسناها من قبل ، أى عندما كانت مركبتينا واقفتين على سطح الأرض ؛ وسوف نعلمنا أيضاً أن عقارب ساعة المركبة الفضائية الأخرى أصبحت تتحرك بصورة بطيئة ، كما هو الحال بالنسبة لكل الأحداث الأخرى التى تجرى على متنها ، مثل معدل التفاعلات الكيميائية ، وبالتالي عمليات الشيخوخة التى تتم فى داخل كل واحد على ظهر المركبة . هنالك نقول فى دهشة « آها ! إذن لذلك قاسوا نفس سرعة الضوء كما قسناها نحن ، لقد تغيرت مسافاتهم وعقارب ساعاتهم بطريقة ما ، بحيث جعلت النتائج متساوية ، فمكاثم وزمنهم ظهر أنه مختلف عن مكاثمنا وزمننا ؛ فمكاثم قد انكمش فى اتجاه حركتهم ، وزمنهم قد تمدد ، حتى جعل عقارب ساعاتهم تتحرك بصورة بطيئة ؛ ففى واقع الأمر ، يبدو أنهم قد دوا بعض المكان واكتسبوا بعض الزمن !

وقد توقعنا هذا فى حيرة شديدة ، لكنه قد يجعلنا نعتقد على الأقل أنه يحل معضلتنا الأصلية ، معضلة كيف يمكننا أن نصل سويًا الى قيمة واحدة لسرعة الضوء ، فنرى أن هذا يمكن أن يحدث ، لأنهم يستخدمون مسافات وساعات تختلف عن مسافاتنا وساعاتنا الميكانيكية . وقد يستهويننا حتى القول بأنهم يستخدمون مسافات وساعات ميكانيكية « خاطئة » الى حد ما ؛ ومع ذلك فهناك مصيدة تؤدي الى حيرة أخرى تنتظرنا ، فمن وجهة نظر من هم على ظهر مركبة الفضاء الأخرى ، علمنا نحن أيضاً نتحرك بالنسبة لهم . لذا فعندما يختبرون مسافاتنا وساعاتنا الميكانيكية ، سيجدون بدورهم مسافاتنا أقصر وساعاتنا أبطأ . ومن أحد المعتقدات الأساسية فى نظرية أينشتاين (على الرغم من أن أينشتاين بالتأكيد لم يكن أول من اقترحها (٢))، هى أن كل الحركات نسبية، فليس بإمكان شخص أن يقرر أنه هو المتوقف ، وأن الآخرين هم الذين يتحركون . فإذا كان أحد متحركاً بالنسبة لنا ، حينئذ فإننا نتحرك بقدر مساو بالنسبة له ، ولا يوجد أحد فى موقع امتياز يمكنه من القول إنه فى حالة سكون فعلى . لذا فما يحدث للآخرين المتحركين بالنسبة لنا من الأشياء القريبة ، يجب أن يكون متطابقاً مع الأشياء القريبة التى يرونها تحدث لنا ، بفرض دائماً أن الحركة ثابتة فى السرعة فلا هى بالتسارعة ولا بالتباطئة ، ولا تغير من اتجاهها .

عند هذه المرحلة ، قد يستهوى شخص أن يهز رأسه معتقداً أشياء مثل « إذا رأيت شخصاً يتكشون وعقارب ساعاتهم تبطيء فيجب

أن يروا مسافاتي تكبر وعقارب ساعتى تتحرك أسرع . كيف يا ترى يستطيعون أن يروا نفس ما أراه ؟ . شيء لا يعقل ! » لكن للأسف اذا كان لا يعقل بالنسبة لنا ، فذلك لأنه ليس لدينا المنطق الفطرى لفهمه ، ولكنه برغم صعوبة تصديقه مازال حقيقة . لقد تأكدت هذه التأثيرات تماما بالتجربة « (٣) .

وقد نستحث على تقبل ذلك بالنظر الى تأثير مشابه — وان كان مختلفا من منظور آخر — مألوف لنا تماما فى حياتنا اليومية لدرجة تقبلنا له كشيء بديهى . اذا كنت واقفا على مسافة ميل واحد منك ، فسوف ابدو لك أصغر من طولى الحقيقى ، البالغ مائة وتسعين سنتيمترا ؛ ومع ذلك ، فتبدو أنت بالنسبة لى أقصر طولا ، بنفس القدر الذى ابدو فيه أنا متضائلا من وجهة نظرك . وسوف يكون هذا التأثير محيرا لغير المعود على تأثيرات المنظور ذى الثلاثة ابعاد ، بمثل حيرتنا ازاء التأثيرات التى فكرناها أننا ، على الأقل الى أن يعايشها بنفسه والى أن تصبح أمرا مألوفاً له . وهناك تمثيل بديل سنناقشه بعد قليل ، يقترب كثيراً من الموقف الحقيقى ، ولذا نأمل أن يكون أكثر اقناعا .

ويتلخص الموقف اذن فى أنه من خلال الثقة المطلقة فى الثبات الحقيقى لسرعة الضوء ، استطاع آينشتين أن يكتشف شيئا جديراً بالملاحظة عن المكان والزمان : فالاشياء التى تتحرك بالنسبة لنا ، يظهر أنها تعاني انكماشاً فى المسافة فى اتجاه حركتها ، وتهدداً فى الزمن ، بحيث أننا عندما نقيس مسافاتهم تظهر وكأنها أقصر من مسافاتنا ، ونجد أن عقارب ساعاتهم تتحرك بصورة أبطأ من ساعاتنا .

فإذا عدنا الى لغزنا الأسمى عن قياساتنا لسرعة الاشياء التى تتخطى سيارتنا عندما ننتقل بسرعة ٥٠ ميلا فى الساعة بالنسبة للأرض [، يجب أن نعترف بأننا كنا مخطئين عندما افترضنا أننا نستطيع أن نضيف بسذاجة سرعات بالطريقة التى بعثت على خيرتنا . فإذا كنا ننتقل بسيارتنا بسرعة ٥٠ ميلا فى الساعة ، وتخطانا شيء آخر مبتعداً عنا بسرعة ٣٠ ميلا فى الساعة ، فانه لا ينطلق بسرعة ٨٠ ميلا فى الساعة بالنسبة للأرض ، ولكن أقل من هذا بفارق صغير ، لا يدركه الحس ، لأننا بالنسبة لراصد ارضى ، نستخدم أجهزة قياس ذات مسافات منكشحة قليلا ، وساعات أبطأ قليلا ، وعلى ذلك ، فان قياساتنا خاطئة من وجهة نظر أى شخص واقف على قارعة الطريق يتابع حركتنا ، ويزداد هذا التأثير عندما تزداد سرعة الاشياء التى تتخطانا ،

الى ان نختبر بانفسنا ويختبر زميلنا الواقف على قارعة الطريق حزمة عابرة من الضوء ، فهذا التأثير كاف لأن يبطل كلها تأثير سرعتنا ذات الـ ٥٠ ميلا في الساعة بالنسبة للأرض — فسيجد كلا الراصدين ان سرعة الضوء هي نفسها . لذا ، فعودة لتساؤلنا أين ذهبت الخمسين ميلا في الساعة ؟ لقد تأكلت في عملية انكماش المكان وتمدد الزمن ، الذي يلاحظه الراصدون في أى شيء يتحرك بالنسبة لهم .

ولم يكن اكتشاف آينشتين بأننا نرى انكماش المكان وتمدد الزمن للأجسام المتحركة هو نهاية مغامرته النظرية ، لكنه مجرد البداية ، حيث قاده الى كشوفات غاية فى الأهمية ، كشف عنها بنفسه ، وكشف عنها أشخاص آخرون ، قاموا بتطوير اكتشافاته بعد ذلك . وسوف نتأقش البعض منها فى فصول أخرى ، بينما يوجد واحد منها سنعرض له فى هذا الفصل ، الا وهو الاكتشاف بأن المكان والزمن لا يمكن اعتبارهما ظاهرتين متميزتين ، بل كوحدة ماثرة للاهتمام ، تعرف بالزمكان .

ولبحث الرابطة التى توحد بين الزمان والمكان فى كينونة واحدة هى الزمكان ، يجب ان نفكر بامعان أولا فى فكرتنا عن الزمان والمكان بصورة مستقلة ، فقد شق آينشتين طريقه بجرأة خلال غموض المعانى بوضعه تعريفا مباشرا وبسيطا لكل من المكان والزمان : فالمكان هو ما نقيسه بأداة قياس ، والزمان هو ما نقيسه بواسطة ساعة . ويوضح هذا الوضوح باب مجادلات فلسفية لا طائل من ورائها حول المعنيين ، لكن المكان والزمن لا يزالان محتاجين منا لبعض التفكير .

يضع الفيزيائيون تمييزا واضحا بين الفضاء والاشياء المطلق ، الفضاء بالنسبة لهم ليس «العدم» . انه ظاهرة متميزة عن العدم ، ومعنى آخر متميز عن الغيب الكامل بللرة لاي ظاهرة ، ويستطيع فيزيائى أن يصف الفضاء من خلال معادلات توضح كيف ينمو او ينكمش او يغير خصائصه بطرق خفية أخرى . لذا يجب أن نتصور حواء الفضاء على انه شيء ، لا عدم ؛ كما يفترض بصورة تلقائية انه كذلك .

وبخلاف هذا التمييز ، فان ملاحظتنا اليومية عما تقصده بالفضاء ، كافية بصورة كاملة لفهم ما سيأتى . فنحن ندرك جميعا فكرة أننا نشغل مكانا ذا ثلاثة أبعاد ، ويعنى هذا ببساطة أن لدينا الفرصة لأن نتحرك لأعلى ولأسفل ، ولأمام وللخلف ، ومن جانب آخر . ويمكن أن نقول بلغة اصطلاحية ان هذه هى الدرجات الثلاث للحرية المتاحة لحركتنا .

وسوف تشير المناقشات الفنية أيضا الى أننا نستطيع أن نصف حركة أى شيء في الفضاء بالنسبة لموضعها الأصلي أو بالنسبة لاحدى النقاط المرجعية ، من خلال استخدام ثلاثة أرقام فقط لحساب بعد الحركة التى يقطعها الجسم لأعلى أو لأسفل ، للأمام وللخلف . أو للجوانب ؛ وينظر كل رقم من هذه الأرقام الثلاثة ، الحركة في بعد واحد فقط من أبعاد المكان .

ويبدو من النظرة الأولى ، أن الزمن ظاهرة متميزة تملأها عن المكان . وأنه بالفعل ظاهرة مختلفة عن المكان ، رغم أن الاثنين يعتبران أكثر ارتباطا عما نتوقع ، فالزمن هو قياسنا لمعدل التغير فنحن نأخذ بعض التغيرات القياسية والمتكررة ، مثل حركة عقرب الساعة ، أو اهتزازة بلورة ، وبعد ذلك نقيس الزمن المقطوع بالنسبة للتغيرات الأخرى ، عن طريق نسبته الى مقدار في التغير في حركة عقرب ساعتنا، أو بلورتنا أو أى ما كان ، وحيث أنه يمكن تمثيل قياسات الزمن برقم واحد يوضح الزمن المقطوع من بداية حدث لآخر ، فمن السهل اعتباره بعداً واحداً آخر . ونقدر أن الزمن والمكان لحدث يمكن تمييزه تماما ، من خلال اقتباس أربعة أرقام مناظرة لموقعه في الأبعاد الثلاثة للفضاء وللبعد الواحد للزمن . لذا يمكن تحديد حركة أى شيء في الفضاء والزمن بواسطة أربعة أرقام تشير الى الحركة في هذه الأبعاد الأربعة من إحدى نقاط البدء ، بالضبط . مثلما يمكن تحديد حركة أى شيء في المكان من خلال إعطاء ثلاثة أرقام تصف الحركة خلال الأبعاد الثلاثة للمكان .

الا أن هناك الشيء الكثير الذى يضاف الى العلاقة بين الزمن والمكان ، أعماق من الفكرة البسيطة التى تقول بأن هناك ثلاثة أبعاد للمكان ، وبعداً واحداً للزمن ، توصف بها الحركة في كل من الزمان والمكان . وفي الواقع ، فقد رأينا بالفعل علاقة أكثر قربا ، بالرغم من أن حلولاتها الكاملة قد لا تكون قد وضحت حتى الآن ، فقد رأينا أن أى شيء يتحرك بالنسبة لنا ، يبدو أن بعض المكان يأخذ في التصاغر (يتكثف) ، بينما يأخذ الزمن في الاستطالة (يتمدد) . أن ما نراه بالفعل ، هو أن المكان قد صار زمنا ؛ بها يوضح وحدة ومقارنة على التبادل بين الاثنين !! وهى فكرة لم تكن متصورة قبل أن يهيم أينشتاين النفس لقبولها ، بل أن أينشتاين نفسه لم يقيمه بصورة كاملة ، الى أن أقتعه الرياضى الألبانى / الروسى هرمان منكوفسكى Hermann Minkowski . فقد كان منكوفسكى أحد أساتذة أينشتاين ، حينما كان أينشتاين طالبا في معهد البوليتكنيك بزيورخ (٤) . وبعد أن علم الطالب مرسه شيئا ، وبالتحديد

نظرية النسبية ، عاد المدرس ، وأوضح لتلميذه كيفية انهاء العمل بصورة صحيحة . وقد ابتدع منكوفسكى نظاماً هندسياً ، وضع فيه وحدة وقابلية تغير المكان والزمن في الاطار الرياضى الصحيح ، وتحتاج هذه الوحدة والقابلية للتغير الى مزيد من الاستكشاف والتوضيح .

ونعود للحظة الى العالم البسيط للمكان ذى الثلاثة أبعاد ، ونفترض انك تنظر الى نموذج لركبة فضاء ممسوكة أمامك بقبضة يديك ، فانت حين تنظر اليها من أحد الجوانب ، ترى انها طويلة تماماً ، ورفيعة حيث انفهاما الحاد في شمالك ، وفيها في يمينك . والآن أدركها قليلاً ، لكى تحصل على منظر افضل للذيل ، وعندما تديرها ، فان طولها ، أو بمعنى آخر امتدادها في البعد الجانبى ، يبدو انه يتلاشى . حاول ذلك مع قلم رصاص ، اذا كان هذا الشرح غير واضح (أو استخدم نموذجاً لركبة فضائية اذا توفر لك !) . والآن فأنت تعرف ، أو تعتقد أنك تعرف أن النموذج لا يحدث له أى نقصان حقيقى عندما تديره . فكل ما يحدث ، هو أن طوله « يدور » الى بعد آخر ، وهو البعد الأمامى والخلفى بالنسبة لك . الا أنه بالنسبة لك ، فمركبة الفضاء تنكمش فى أحد الأبعاد الجانبية وتتمد (تبدو أكبر) فى البعد الخلفى والأمامى ، ويعتبر هذا التأثير من التأثيرات المألوفة لآى واحد يعيش فى عالم من ثلاثة أبعاد - فالشئ الذى يبدو طويلاً ورفيعاً من أحد الجوانب ، يمكن أن يظهر قصيراً وغلظاً من الأمام والخلف ، لأنه كلما دار ، أو كلما درنا حوله فان طوله الأسمى يتحول الى بعد آخر عندما نراه من النقطة التى نقف عندها .

فنحن لدينا تمثيل مقنع جداً هنا بما سيحدث عندما تبدأ الأشياء فى التحرك بالنسبة لنا ، فيما عدا أنه من أن يؤدى الانكماش فى طول أحد أبعاد المكان الى تمدد بعد آخر من أبعاد المكان الثلاثة الأخرى ، فان الانكماش فى الطول ، يسبب تمدداً فى البعد الرابع الا وهو الزمن . لذلك تعتبر أبعاد المكان الثلاثة والبعد الواحد للزمن فى الحقيقة أكثر ارتباطاً أو اتصالاً مما نعتقد . ويبدو أنه من الممكن لأحد المسافرات فى المكان أن « تدار » متحولة الى طول فى الزمن . وتاماً مثلها يمكن أن يدور طول مركبة فضائية بعيداً عنا الى بعد آخر من عالم الثلاثة أبعاد للمكان ، كذا فان بعد الطول لآى مركبة فضائية متحركة ، يمكن أن يتحول الى زمن فى العالم ذى الأربعة أبعاد ، والذى يجب أن نسميه الزمكان .

لذا ، فقد بدأنا ندرك لماذا اضطررنا الى اعتبار المكان والزمن متحدين الى حد ما في العالم الغامض الرباعي الأبعاد للزمكان ، وهو غامض ومحير لنا ، لأننا لم نجرب تأثيرات وجوده في عالمنا اليومي البطيء الحركة . ولكن لو تخيلنا انفسنا كمخلوقات مسطحة تماما ، ونعيش في أرض مسطحة ، وغير قادرين على النظر لأعلى أو لأسفل ، فربما نفزع تماما ، اذا رغبنا أحد ، بحيث ينكشف لنا فجأة تأثيرات الدوران في البعد الثالث فوقنا . وبالمثل ، يمكن ان نفزع عندما ندخل لأول مرة في تأثيرات دوران بعض المكان في البعد الرابع من الزمن — نفزع عندما نرى فجأة الساعات المتحركة تبطيء ، عندما تنكمش في اتجاه حركتها . وتحدث هذه الحركات طوال الوقت ، الا انها تحدث بامتداد طفيف بحيث لا نلاحظه ابدا (على الرغم من أن هذه « الدورانات » أكثر خفاء هندسيا الى حد كبير عن الدوران في الثلاثة أبعاد والتي اعتدنا أن نراها) . وعندما تجرى بسيارتك ، فانك تدور في الزمكان بالنسبة للناس الواقفين في الشارع . وبالنسبة لهم ، فان قليلا من طول سيارتك قد غاب عن النظر ، ويظهر فقط على أنه تطويل طفيف في الزمن الذي تأخذه ساعتك في تكة كل ثانية ؛ فاذا استطاعت سيارتك ان تبلغ قدراً من سرعة الضوء ، فسوف يصبح التأثير ملحوظاً .

اننا نعيش في عالم من الزمن والمكان ، عالم زمكان يمثل توحده حلبة رباعية الأبعاد ، حلبة حقيقية قابلة للاختبار ، بالرغم من أنها من المؤكد غير واضحة لنا . فنحن لا نستطيع أن نتصورها ، لأننا لا نتعامل معها بشكل مباشر ، ولذا لا يجب أن نكون قاسين مع انفسنا ، اذا ما وجدناها صعبة الفهم ، ولكن يجب ألا نخطيء بفيد ظاهرة ببساطة ، لأننا وجدنا انفسنا غير قادرين على تصورها . فالزمكان ليس مجرد فضاء ، فانه الساحة الحقيقية التي ولدنا فيها ، والتي سنعيش فيها أبدياً .

الكتلة

MASS

ماذا يوجد فى كوننا بخلاف المكان والزمان — الزمكان — الذى يعمل كالميدان الذى يمكن أن تقع به الأحداث ؟ والاجابة الواضحة على ذلك هى انه توجد اشياء : فهناك ما يسمى بالاشياء « المادية » ، كالنجوم والكواكب والنبات والناس والصخور والأحجار ، تتكون جميعها مما نطلق عليه « مادة » . وهناك أيضا اشياء أخرى ليس من السهل ملاحظتها أو فهمها دون ادراك واع لها ، مثل الضوء ، بينما الأشياء الأكثر وضوحا التى تشغل ساحة الزمكان ، هى الأشياء المادية المصنوعة من المادة ؛ ولكن ماذا نقصد بكلمة « مادة » ؟

قد يظننا معجم مصطلحات علمية على أن المادة هى الاسم الذى يعطى لآى شئ له خاصية « الكتلة » وله أيضا بعض الامتداد فى المكان والزمان . وتوضح النقطة الأخيرة ، أن المادة يجب أن يتوفر بها بعض الحجم ، ويجب أن تدوم لقدر معين من الزمان ، ولكن ما هذه الظاهرة التى تسمى كتلة ؟ ونعود مرة أخرى الى معجم مصطلحاتنا العلمية لمزيد من الايضاح ، ونكتشف أن الكتلة هى الاسم الذى يعطى لقياس مقدار الجهد المطلوب لتغيير حركة جسم ، أو بمعنى آخر ، لجعله يتسارع ، أى يكتسب عجلة acceleration أو يتباطأ ، أى يفقد عجلة . ومن الناحية الاصطلاحية ، تعتبر كتلة أى جسم هى قياس مقدار « القوة » المطلوبة لتغيير حركته بمقدار معين ؛ لذا فهى مقياس مقاومة الجسم للحركة لأن « مقدار القوة » يمكن أن تعنى جوازا « مقدار الدفع » ومع ذلك فسوف نقاش مفهوم القوة بالتفصيل فى الفصل الثالث .

ومن ثم فالأشياء التى تحتاج الى دفع (أو جذب) من بعض القوى لكى تغير حركتها يقال انها تحتوى على كتلة ، حيث تتناسب الكتلة (التى تقاس بالكيلوجرامات) مع القوة المطلوبة لحدوث قدر معين من التغير فى الحركة . ونحن نعرف العديد من الأشياء التى تتطلب دفعا أو جذبا لكى تغير حركتها ، ففى الواقع يبدو من الصعب الاعتقاد فى وجود أى شئ لا يتطلب دفعا أو جذبا ؛ ولكن لماذا يتطلب الشئ دفعا أو جذبا ؟ فهذا لغز ، وهو فى الحقيقة لغز يعرف بلغز أصل القصور الذاتى inertia ، وبالنسبة للقصور الذاتى ، فهو الاسم الذى يطلق على ميل الأجسام ذات الكتلة ، لعدم التعاقل أو لعدم التباطؤ ، الا اذا وقعت تحت تأثير قوة ما . وبطبيعة الحال ، تنحو الأشياء المتحركة فى الحياة اليومية نحو التباطؤ ، ويرجع السبب فى ذلك الى قوى الاحتكاك التى تجعلها تميل نحو التوقف . وفى العالم الخالى من الاحتكاك ، تستطيع سيارتنا أن تجرى على الطرق المستوية بلا مقاومة الى ما شاء الله .

ومع ذلك ، يعتبر القصور الذاتى سمة واحدة فقط من سمات الظاهرة التى نطلق عليها كتلة . ويشتمل الوجه الآخر على القوة المعروفة بالجاذبية ، والتى من خلالها يتجاذب جسمان نحو بعضهما البعض . ويخبرنا التعريف الكامل لمعجم المصطلحات العلمية عن الكتلة ، بأنها ليست فقط قياس مقدار القوة المطلوبة لتغيير حركة جسم ، لكنها أيضا قياس للاسهام الذى يصنعه جسم مع القوة الجاذبية لاجتذاب بين نفسه وأى جسم آخر . وتحدد كتلة جسم مقدار القوة التى ستشترك بها الجاذبية معه . فالمقاومة للتغير فى الحركة وتولد الجاذبية ، هما الظاهرتان المصاحبتان للكتلة .

وهذا يضعنا أمام لغز ثان : لماذا وكيف تسبب الأجسام ذات الكتل قوة الشد الجذبي التى تحيط بها ؟ غير أن الألغاز لا تنتهى عند هذا الحد . فالكشف عن التعريفات المعجبية للكتلة ، سيقودنا بسرعة الى تعريفات فرعية تحت عنوان « كتلة السكون rest mass » و « الكتلة النسبوية relativistic mass » (١) . ما هذان النوعان من الكتل ؟ قد يدلنا المعجم على أن كتلة السكون هى كتلة الأجسام وهى فى حالة السكون ، والتى تبدو معقولة بشكل كاف ، فى حين أن الكتلة النسبوية لجسم ، هى كتلته الكلية أثناء حركته ، تلك الكتلة التى تعتبر أكبر من كتلة سكون الجسم . ما هذه الظاهرة الغريبة ؟ كيف تكتسب الأجسام كتلة بمجرد أن تتحرك ؟

لا بد لنا من أن نسبر أغوار هذه الالغاز جميعها ، في حين أن اللغز الخالص بالجاذبية سوف نفرد له فصلا خاصا (الفصل الرابع) . الا أنه قبل البدء في الاستكشاف ، يجب أن نميز بين مفهوم الكتلة ، والمفهوم المتداول الأكثر ارتباطا بها وهو الوزن . وفي لغة العلم ، ليست الكتلة شيئا مماثلا للوزن ، على الرغم من أنه توجد حالات ، يبدو أن وكأنهما وجهان لعملة واحدة . فنحن نزن شيئا ما بوضعه في ميزان ، ونقيس مقدار القوة التي تجذبه نحو الأرض بفعل جاذبية الأرض . فالوزن ما هو إلا قياس القوة التي ينجذب بها الجسم لأسفل . وتعتمد القوة بشكل كامل على كتلة الجسم — فكلما كسنت كتلة الجسم أكبر ، ازداد وزنه — لكن المفهومين مختلفان . ولكي نعطي فكرة عن الاختلاف بينهما ، تخيل أننا نقلنا الجسم والميزان الى سطح القمر ، حيث تكون الجاذبية هناك أضعف (تبلغ مقدار قوة الجاذبية على سطح القمر سدس مقدار الجاذبية على سطح الأرض) . فوزن الجسم سيكون أقل منه على الأرض مع أن كتلته تظل ثابتة بلا تغير . فأي كتلة هي القياس الأساسي ليل أي جسم لمقاومة التغير في حركته وتوليد جاذبيته . والوزن هو كمية أكثر تغييراً ، حيث يتغير من مكان لآخر ، تبعاً لقوة الجاذبية السائدة في كل مكان ، ومن السهل اللبس بين الكتلة والوزن ، نظراً لأنهما يقدران بنفس الوحدات . فعلى سطح الأرض ، يكون وزن كتلة مقدارها كيلوجرام واحد ، هو كيلوجرام واحد أيضاً ، بينما ستعطي نفس كتلة الكيلوجرام الواحد على سطح القمر وزناً أقل بدرجة ملحوظة .

ونعود الى الغازنا ، ونبدأ أولاً بالتمييز بين كتلة الجسم في حالة السكون وكتلته النسبوية . ما هو مصدر الاختلاف بين كتلة جسم في حالة سكون وكتلته وهو متحرك ؟ سوف ننظر هنا الى أحد الاكتشافات الأخرى لألبرت آينشتين . فعندما كان آينشتين يطور نظرياته الخاصة عن المكان والزمن ، والتي ناقشناها في الفصل الأول ، اكتشف أنه لا يوجد شيء غريب وعجيب فقط حول المكان والزمان ، بل يوجد أيضاً شيء غريب وعجيب عن الكتلة . والغرابة هنا تأتي مرة أخرى من المقارنة بتوقعاتنا اليومية .

وكان أحد الأحياءات الأساسية لتتظير آينشتين ، هو أن سرعة الضوء ليست فقط نفس الشيء بالنسبة لكل واحد ، لكنها أقصى ما يمكن من سرعة يمكن أن يكتسبها أي شيء في أي وقت ، وتمثل سرعة الضوء حداً طبيعياً للسرعة يبدو أنه لا يمكن تخطيه ، والذي يجب أن يمثل

له أى شىء فى الكون . ويبحث هذا على تعارض مهم مع الفيزياء الكلاسيكية الحسالية ، المختصة بالظاهرة المعروفة بـ (كمية التحرك) . فاذا ضربت كتلة جسم متحرك (مقدرة بالكيلوجرامات) فى سرعته (التى تقدر بالأمطار فى الثانية) ، فالكمية الناتجة تعرف بـ (كمية تحرك الجسم) . فاذا تعرض الجسم المتحرك الى دفع آخر ، أو بمعنى آخر ، تعرض الى قوة أخرى فى اتجاه حركته ، ستغيرنا الفيزياء الكلاسيكية حينئذ بأن كمية تحركه يجب أن تزداد فى تناسب طردى مع القوة . وفى عالمنا اليومى ، يمكن أن تعزى هذه الزيادة فى كمية التحرك الى الزيادة فى سرعة الجسم الذى حدث له الدفع . ولكن افترض اننا اعطينا الجسم دفعات متكررة ، الى أن يصبح قريبا من سرعة الضوء . فبما أن سرعة الضوء هى الحاجز الذى لا تستطيع سرعة الجسم أن تخترقه ، فيجب أن ينتج عن الدفعات المتعاقبة عجالات متناقصة بشكل منتظم ، لدرجة أنه على الرغم من الدفعات العديدة التى تعطى للجسم ، فانه لا يستطيع مطلقا أن يخترق حاجز سرعة الضوء ، لذا ، فنحن أمام معضلة : كيف يمكن زيادة كمية التحرك بنفس المقدار مع كل دفع ، اذا كانت الزيادة الناتجة فى السرعة ، ومن ثم السرعة فى أى اتجاه ، تتناقص بصورة منتظمة ؟ ولما كانت كمية التحرك هى الكتلة مضروبة فى السرعة ، فان أحد الحلول الممكنة ، هو افتراض أنه كلما ازدادت سرعة الأشياء ، يجب أن تزداد كتلتها ، وسوف يسمح هذا بزيادة فى الكتلة لتكون بديلا عن تناقص السرعة المتزايد مع كل دفع . وبالرغم من غرابتها ، إلا أنها الإجابة الحقيقية التى جرى اثباتها من خلال التجارب باستخدام الجسيمات دون الذرية سريعة الحركة . وتصبح الأجسام فى الحقيقة أكثر كتلة ، ونتيجة لذلك تزداد ثقلا عندما تتحرك بسرعة كبيرة . وهذا التأثير فى السرعات المنخفضة التى نراها يوميا غير محسوس ، لكنه يبدأ فى التزايد بانتظام عندما تقترب السرعات من سرعة الضوء ، الى أن يصبح هو التأثير المسيطر عند محاولة دفع الأشياء بشكل أسرع ، واذا حاول أحد مهندسى الفضاء كسر حاجز الضوء ، فسوف يواجه بهذا التأثير المحيط ، الذى يبدو أنه يعمل ضد أقصى جهودهم : فكلما ازدادت قوة صاروخهم ، يصبح أثقل مع تزايد السرعة ، ويخيب أملهم للأبد فى الوصول الى سرعة الضوء .

وهكذا ، فكل جسم ذى كتلة له كتلة مكون أساسية ، تلك الكتلة التى يكتسبها عندما يكون فى حالة سكون بالنسبة لنا ، فى حين توجد سلسلة لا متناهية من الكتل النسبوية الأكبر ، حيث يتحدد

الاختلاف بين الكتلتين من خلال السرعة التي يتحرك بها الجسم بالنسبة لنا . وقبل أن تستمر ، فكر نفسك بما تغنيه حقيقة هذا الاختلاف في الكتلة ؛ فلما كانت السمة المزدوجة للظاهرة ، التي نطلق عليها كتلة ، هي مقاومتها للتغير في الحركة (خاصية القصور الذاتي) وقدرتها على خلق قوة جاذبية ، فإنه عندما تتزايد سرعة الأجسام ، نجد أنها تحتاج إلى مزيد من الدفع لتغير حركتها بمقدار معين وتولد قوة أكبر من الشد الجذبي على الأشياء حولها .

كانت الألفاظ الأخرى التي تأملنا فيها من قبل تتعلق بالخواص المزدوجة للكتلة . وهنا نتساءل ، لماذا يجب أن تقاوم أجسام معينة (أي الأجسام ذات الكتلة) تغيير حركتها ؟ ما الذي يجعلها تفعل ذلك ؟ ولماذا وكيف تسبب هذه الأجسام حدوث قوة الشد الجاذبية التي تحيط بها ؟

وفكر العلماء في اللفظ الأول لعدة قرون ، ومازالوا يفكرون . أنه لفظ مصدر القصور الذاتي ، والقصور الذاتي هو الاسم الذي يعطى ليل الأجسام ذات الكتل لمقاومة التغيرات في حركتها . كيف ولماذا تحدث هذه المقاومة ؟ يعتبر الفيزيائيون المعاصرون أكثر سعادة بفهمهم لكيفية بدء تحرك الأجسام ، أو توقفها أو تغيير حركتها ؛ في حين أن العديد منهم ليسوا سعداء على الإطلاق بفهمهم لكيفية مقاومة هذه الأشياء للتغير وميلها للاحتفاظ بأي حركة مها كانت لديها . ويبدو بالنسبة للبعض أنه سؤال غير مجد ، على الرغم من أن إحدى الاجابات المحتملة قد تكون مبهرة .

قد نعيش في كون يعتبر على نطاق واسع ، متماثلاً تماماً من ناحية توزيع المادة ، بمعنى أن كل مكان محاط بنفس المقدار من المادة ، مثل أي مكان آخر . وقد يبدو من الوهلة الأولى هذا مستحيلاً ، حيث يبدو الكون المتماثل ، وكأنه يشتمل على كون كروى ، تكون فيه بعض الأماكن أقرب من « حافة » الكرة عن أماكن أخرى ، إلا أن هذه قد تكون فكرة مبسطة تماماً ، بسبب خبرتنا الساذجة عن المكان الثلاثي الأبعاد . ولكي نعرف مقدار خديعتنا ، تخيل أننا مخلوقات مسطحة تعيش فوق سطح كوكب أملس تماماً ، ولا ندرك سوى بعدين فقط لذلك السطح المستوي ، فسوف يبدو وكأننا الأمر ملتبس علينا ، عندما نكتشف أننا عندما نشير في اتجاه واحد ، سنجد أنفسنا في النهاية وقد عدنا من حيث ابتدأنا ، وسوف نسأل كيف يمكن أن يحدث

هذا ؟ وسوف تملكنا الدهشة عندما نعلم أن عالمنا ليس مسطحا تماما ، لكنه ينحني على نفسه للضغط قليلا نحو البعد الثالث ، وأن هذا التكور يعنى أن أية نقطة على سطح عالمنا ، تخاط بقدر متساو من بقية عالمنا في جميع الاتجاهات . فلا توجد حواف — فأينما كنا ، يكون مكاننا مكاننا لاي مكان آخر ، من ناحية القدر من عالمنا الذى يحيط بنا .

وبطبيعة الحال ، فلسنا مخلوقات ثنائية الأبعاد ، فنحن مخلوقات شديدة البأس ، ليست لدينا أية صعوبة في معرفة كيف أن مخلوقاً ثنائى الأبعاد على سطح كرة ضخمة ، قد لا يفهم كيف يمكن لهذا السطح أن ينحني على نفسه من خلال بعد آخر . لذا يجب ألا يبدو علينا الاضطراب عندما نعلم أن فضاءنا الثلاثى الأبعاد (الزمكان ذو الأربعة أبعاد) ، قد ينحني على نفسه من خلال بعد أو أبعاد لا تظهر لنا ، وتجعلنا محاطين من جميع الجهات بقدر متساو من الكون ، وبعدد متساو من المجرات والنجوم ، بغض النظر عن الموقع الذى نقف عليه في أى لحظة .

دعنا نقبل هذا الاحتمال لبرهة صغيرة ، ونأمل بعد ذلك تأثير قوة الجاذبية التى تولدها كل هذه المجرات ونجومها ، وسوف يكون هذا التأثير ، في المتوسط متساويا في جميع الاتجاهات ، لذا فبالإضافة لما نشعر به أسفلنا مباشرة من قوة جذب غير متوازن ، لكونه في اتجاه الأرض ، قد يوجد هناك شد جذبى علينا من بقية الكون ، يكون متساويا من جميع الاتجاهات ، ولكى نغير حركتنا ، فسوف نحتاج الى أن نتصارع مع كل هذه القوى الجاذبية المحيطة بنا — أى سوف نحتاج الى أن نتصارع مع الجذب القادم من بقية الكون ! كذا ، وفقا لهذا المنطق ، يكون مصدر القصور الذاتى . فالأجسام ذات الكتلة تميل لمقاومة التغيرات في حركتها ، وبذلك تميل الى الاحتفاظ بأية صورة من صور الحركة التى تمتلكها في الأصل ، لأنها لكى تزداد عجلتها أو تتناقص ، يجب أن تواجه كافة القوى الجاذبية للنجوم والمجرات التى تحيط بها بمقادير متساوية من جميع الاتجاهات ، والمرة التالية التى تنطلق فيها بسرعة بسيارتك ، وتشعر وكأنك منضغط للخلف في مقعدك ، تفكر في إمكانية أن ما يجذبك للخلف ، هو بقية الكون بأكمله — فالتجمع الذى لا يحصى عدده من المجرات ونجومها ، والتى تمتد اليها جميعا أصابع الجاذبية ، تحاول أن تجعلك أيها الشيء الصغير في مكانك أينما كنت !

هذا الاقتراح المثير عن مصدر القصور الذاتى ، هو مجرد اقتراح (٢) ، ويرغم استفاده الى بعض الأدلة ، يظل مسألة جدلية . وأنه برغم ذلك يعتبر افضل فكرة استطاع الفيزيائيون التوصل اليها حتى الآن ؛ ومثل كل الأفكار العظيمة فى العلم ، فهي تبسط وجهة نظرنا عن الطبيعة . فهي تعنى انه بدلا من التساؤل ، لماذا تصاحب بعض الأجسام ، تلك الأجسام التى نقول ان لها كتلة ، بخاصية القصور الذاتى وكذا الميل نحو توليد الجاذبية ، فنحن نحتاج ببساطة لأن نفكر فى ميلها نحو توليد الجاذبية ، لأن الشد الجذبي لكل الأجسام الأخرى هو ما يجعل أى جسم يمتلك قصورا ذاتيا . وعلى ذلك ، فلا يزال لدينا لغز واحد باق عن الكتلة (على الأقل واحد من الألغاز التى اخترت أن أوجه اليها الانتباه) لغز فى سبب وكيفية توليد الأجسام ذات الكتل قوة الجاذبية ، وما هو بالضبط كنه الجاذبية . وسوف يكشف لنا التفكير فى اجابات محتملة أيضا الكثير عن حقيقة الكتلة ، لكن هذا اللغز سوف نتحدث عنه فى الفصل الرابع .

الفصل الثالث

القوى

FORCES

اننا محاطون بأشياء تتحرك وتتغير ، بل واننا فى الواقع نتكون من أشياء تتحرك وتتغير . فكل الأشياء بدءا من المجرات ونجومها الى ادق الجسيمات دون الذرية الموجودة بداخل أجسامنا ، تتحرك وتشارك فى أحداث التغيرات . وتحدث الحركة والتغيرات ، لانه يوجد ما يسميه الفيزيائيون بالـ « القوى » تمارس نشاطها فى الكون ، تلك القوى التى تولد فى غالب الأوقات حركات دفع وجذب بسيطة ، مثل ذلك الدفع والجذب المصاحب لكلمة قوة بمعناها الدارج ، ولكنه يمكن أن يحدث أيضا تأثيرات أخرى أكثر غموضا .

ويفضل الفيزيائيون غالبا استخدام كلمة « تفاعل interaction » بدلا من كلمة قوة حينما يشيرون ، على سبيل المثال الى ، « التفاعل التجاذبى gravitational interaction » بدلا من قسوة التجاذب gravitational force . ويؤكد استخدام مصطلح تفاعل على أن بعض تأثيرات القوى تعتبر أكثر غموضا عن مجرد كونها حركات دفع وجذب ؛ ويؤكد أيضا على نقطة أنه كلما أحدث أحد الأجسام قوة فى جسم آخر ، يولد الجسم الآخر بدوره قوة مساوية ومضادة فى الاتجاه فى الجسم الأول . ويعرف هذا التأثير بقانون اسحق نيوتن Isac Newton الذى ينص على « أن لكل فعل رد فعل مساو له فى المقدار ومضاد له فى الاتجاه » ، والذى يعنى ببساطة أن الأشياء التى تسحبها قوى ، تحدث نتيجة التفاعلات المتبادلة بين بعض الأجسام .

ومن الوهلة الأولى ، يبدو أن العديد من القوى المختلفة تعمل في العالم والكون بشكل عام ، فهناك قوة الرياح وقوة البحر ، والقوة الجبارة للهزات الأرضية والبراكين ، وقوة المياه المتساقطة من أعالي الجبال في صورة شلالات ، وقوة النيازك التي تصطم بالأرض ، والقوة الكامنة في الماء المتجمد الذي يحدث الشروخ في الصخور الصلبة . وهناك قوة داخل عضلات الكائنات الحية ، تجعلها متماسكة ضد قوة الجاذبية الأرضية ، وتجعلها تتحرك في كل اتجاه وتمكنها من رفع الأشياء ودفعها . وهناك القوة المتفجرة للبترو ، التي تؤدي إلى تحريك مكابس محركات السيارات وتجبر السيارات على الحركة ، وهناك قوة الكهرباء ، التي تجعل فتيلة اللمبة الكهربائية تقوهمج ، وتجعل الأجهزة الكهربائية تعمل ، وهناك القوة المغناطيسية ، التي تجعل بعض المعادن تنجذب نحو المغناطيس ، وهناك قوة الموجات الصوتية التي تصدر نذببات في أذنك ... ولا تزال القائمة حافلة بالقوى ، لكنها تنطوي على بساطة عجيبة . فعندما تدرس مجموعة من القوى المتنوعة بشكل مفصل ، سوف تكتشف أن هناك وحدة كاهنة في هذا التنوع . وقد تكتشف أن ثمة عددا قليلا من القوى ، لكنها اذ تعمل في حالات مختلفة ، تخلق وهما بأن هناك العديد من القوى المختلفة .

وهناك في الواقع أربع قوى لا غير ، هي المسئولة عن كل عمليات الدفع والجذب والتغير التي توجد في الطبيعة . وتسمى هذه القوى بالـ (القوى الأساسية) الأربع وهي : قوة الجاذبية gravity ، وقوة الكهرومغناطيسية electromagnetic force والقوة النووية الضعيفة weak nuclear force والقوة النووية القوية strong nuclear force .

وتعتبر الجاذبية القوة الأساسية التي نعرفها جميعا ، فهي القوة التي تجذب جميع الأجسام ذات الكتل أحدها نحو الآخر ، فهي تجذب التلاح نحو الأرض ، وتجذب الأرض نحو القمر ، والكواكب نحو نجومها ، والنجوم نحو بعضها البعض داخل المجرات ، والحيز الذي تعمل من خلاله قوة ما ، كهوة الجاذبية ، يقال انه مشغول بمجال قوة field بحيث يكون كل جسم ذي كتلة مصحوبا بمجاله المحيط من القوة الجذبية . الا انك ستكتشف في الفصل السابع ، أن وجهة نظر العلماء عن طبيعة مجالات القوى هذه تعتبر أكثر غموضا مما هو مفترض في البداية .

والقوة الأساسية الثانية المألوفة لنا تماما هي قوة الكهرومغناطيسية ، وهي المسئولة عن كل من التأثيرات الكهربائية والمغناطيسية . فبعض

الأجسام ، والتي هي في النهاية بعض الجسيمات دون الذرية ، كالبروتونات والالكترونات المعروفة داخل الذرات ، تتدافع وتتجاذب في وجود بعضها البعض ، بطريقة تنم على أنها تحت تأثير قوى مختلفة تملأها عن القوة التي تعمل بها الجاذبية . لسبب أساسي ، هو أن هذه القوة يمكن أن تعمل على تباعد الأجسام عن بعضها البعض ، وبمعنى آخر ، تعمل كقوة تنافر ، في حين لا تكون الجاذبية الا قوة جاذبية تعمل على جذب الأجسام نحو بعضها البعض . ويقال للأجسام التي تحدث وتستجيب لهذه القوة ، أنها تقوم بذلك ، لأنها تحمل قدراً معيناً من « شحنة كهربية » ، مثلما يمتلك الأجسام التي تحدث وتستجيب للجاذبية ككلا (والتي يمكن أن نطلق عليها « شحنة كتلية » اذا شئنا) ولا يوجد من يعرف على وجه اليقين كنه الشحنة الكهربائية — فهي مجرد اسم اعطى لخاصية الأجسام التي تولد وتستجيب للقوة المعروفة بالقوة الكهربائية .

وكما يعرف معظم الناس ، فهناك نوعان متضادان من الشحنات الكهربائية ، يعرفان بالشحنة الموجبة (+) والشحنة السالبة (-) ، والقاعدة الأساسية للحركة تحت تأثير القوة الكهربائية ، هي أن الأجسام ذات الشحنات المختلفة تتجاذب نحو بعضها البعض ، بينما تتنافر الأجسام ذات الشحنات المتشابهة . وعلى ذلك ، تتجاذب الشحنة الموجبة والشحنة السالبة ، في حين أن شحنتين موجبتين أو أكثر تتنافران ، وبالمثل فإن شحنتين سالبتين أو أكثر تتنافران . وتعتبر قوة التجاذب والتنافر بين الأجسام التي تحمل شحنات كهربية ، القوة المسؤولة عن كل القوى تقريباً التي نتعامل معها بشكل مباشر ، بخلاف قوة الجاذبية . فالقوة التي تبذل لارجاع شريط مطاط الى وضعه الصحيح ، وقوة عضلة ترفع وزناً ، وقوة انفجار كيميائي ، هي مجرد أمثلة ثلاثة من أمثلة القوى اليومية التي تحدث في الواقع بسبب قوة الدفع والجذب الموجودة في الجسيمات المشحونة كهربياً داخل الأجسام التي نحن بصدددها . وستوضح الطريقة التي تخلق من خلالها إحدى القوى هذه التأثيرات المتنوعة لنا فيما بعد ، عندما نتأقش الطبيعة الأساسية للكيمياء والحياة .

دعك مما يسمى بالقوة الكهربائية ؛ فمن أين جاءت السمة المغناطيسية للقوة الكهرومغناطيسية ؟ لقد جرت العادة على اعتبار أن تأثيرات القوة الكهربائية وظاهرة المغناطيسية تحدثان نتيجة لقوتين متميزتين ؛ القوة الكهربائية والقوة المغناطيسية ، بينما أوضح جيمس كلارك ماكسويل

James Clerk Maxwell في فترة الخمسينيات من القرن التاسع عشر ،
أنهما سمتين متميزتين من قوة « كهرومغناطيسية » واحدة . فقد تبين
أن المجالات المغناطيسية ، أو بمعنى آخر ، مجالات القوة
التي تخلقها الأجسام التي نسميها مغناطيسات ، تولد من
حركة الأجسام التي تحمل شحنات كهربية . لذا ، فالقوة التي تجعل
إبرة البوصلة تلف نحو الشمال ، وقوة الكهربائية الاستاتيكية ، التي
تجعل مشطاً من البلاستيك يلتقط ذرات الغبار وقصاصات الورق
الصغيرة ، هي ظواهر مختلفة لقوة كهرومغناطيسية أساسية واحدة .

والمعلومات التي أوردناها عن القوة الكهرومغناطيسية تجعل من
السهل أن ندرك السبب في حاجة الطبيعة الى قوة واحدة أخرى على
الأقل ، لكي تجعل عالمنا مفهوماً . يدرك العديد من الناس التركيب
الأساسي لجسيمات المادة المعروف بالذرات atoms ، الذي تتجمع
فيه الجسيمات ذات الشحنة الموجبة المسماة بالبروتونات Protons
داخل « نواة Nucleus » مركزية بالغة الصغر .

ويجب أن تضم قوة ما هذه البروتونات نحو بعضها ، والا فنتوقع
من القوة الكهربائية أن تنفرها عن بعضها ، حيث تحمل جميعها نفس
النوع من الشحنة ، وهي الشحنة الموجبة . وتسمى القوة التي تعمل
على هذا المدى القريب داخل النواة ، وتستطيع التغلب على هذا التأثير
الطارد ، بالقوة النووية القوية . وتستشعر هذه القوة أيضا الجسيمات
المتعادلة كهربيا المسماة بالنيوترونات Neutrons ، وهي تعمل على
ضم البروتونات والنيوترونات مع بعضها البعض داخل نوى الذرات .

وآخر قوى الطبيعة هي القوة الأكثر غموضا ، « القوة النووية
الضعيفة » وهي المسؤولة عن التحولات الغامضة الدالة داخل نوى
الذرات ، التي تصاحب انبعاث النشاط الإشعاعي « بيتا beta .
Radioactivity فالنيوترون في بعض الأحيان داخل نواة الذرة يمكن أن
يتحول الى بروتون ، والذي يظل في داخل الذرة ، وإلى إلكترون سريع
الحركة يتطاير من الذرة بمجرد تكوينه . وتتكون أشعة بيتا من دفقات
من هذه الإلكترونات الطليقة المنبعثة من مادة ما . وتعتبر القوة النووية
الضعيفة مسؤولة عن التحول المبني للنيوترونات التي تولد أشعة بيتا .

وفي الحقيقة ، فإنه من شبه المؤكد حاليا أن هذه القوة النووية
الضعيفة هي مظهر خفي آخر من مظاهر القوة المسؤولة عن الكهربائية

والمغناطيسية . فنحن نرى أن مصطلح « القوة الكهرومغناطيسية » يتم استبداله على نحو متزايد بالـ « القوة الكهروضعيفة electroweak Force » في التعرف على هذه الوحدة الظاهرية .

وعلى ذلك ، فيحتمل ألا يكون لدى العلماء الذين يرغبون في وصف واستخدام قوى الدفع والجذب والتغير للطبيعة ، سوى ثلاث قوى أساسية يتعاملون معها هي : القوة الجذبية ، والقوى الكهروضعيفة والقوى النووية القوية ، بالإضافة إلى الشحنات الغامضة المصاحبة لكل قوة ، والتي تجعل أشياء معينة تستجيب لتأثير كل قوة .

وقد تكون الأمور أكثر بساطة من ذلك . فقد رأينا بالفعل كيف بدت القوى الكهربائية والمغناطيسية المختلفة ظاهريا ، أنها أوجه منفصلة من قوة كهرومغناطيسية واحدة ؛ وبعد ذلك كيف ظهرت القوة النووية الضعيفة على أنها مجرد مظهر آخر لنفس القوة ، التي نسميها حاليا بالقوة الكهروضعيفة . وقد وحدث عملية الاكتشاف هذه القوى الثلاث المتميزة ظاهريا في قوة واحدة ، ولا يزال البحث جاريا عن وحدة إضافية أخرى تتضمن هذه القوى . فلدى الفيزيائيين في الوقت الحالي سبب قوى للاعتقاد بأن القوة النووية القوية قد تنضم إلى الاتحاد أيضا ، ويعنى ذلك أن قوة واحدة أساسية قد تصبح مسئولة عن القوة النووية القوية والقوة النووية الضعيفة والقوة الكهرومغناطيسية ، التي تبدو متميزة من الظاهر . وربما قد توجد حتى « قوة عظمى » كسونية واحدة ، إذا اتضح توافق الجاذبية مع هذا الاتحاد أيضا ، كما يقترح بعض الفيزيائيين (١) .

هذه الأفكار عن الاتحاد القابل للزيادة للقوى هي مجرد تأملات في الوقت الحالي ، أكثر من كونها حقائق مؤكدة ؛ ولكن حتى في الوضع الراهن ، فإنه تتكشف بساطة سارة ومدهشة للقوى في صميم كل تغير . ويبدو على أكثر تقدير ، أنه يوجد أربع فقط ، وربما ثلاث فقط ، أو اثنتان فقط أو واحدة من القوى الأساسية التي تعمل في الكون . ويعتبر التأثير المتبادل بين هذه القوى والأجسام مع الشحنات المناظرة، المسئول عن كل الدفع والجذب والتغير الذي يسبب حدوث الأشياء .

الفصل الرابع

الجاذبية

GRAVITY

لقد اعتدنا على الجاذبية لدرجة أن أصبح من السهل أن ننسى أنها موجودة ، على الرغم من أنها تثبت أقدامنا فوق عالمنا الأرضي وهي التي تجعل الأرض في تجاور مناسب من مصدر الطاقة الباعث على الحياة الذي نسميه الشمس ، وهي تمسك الشمس وكل النجوم الأخرى في التجمعات الشاسعة من النجوم التي نسميها بالمجرات . فلو توقف عمل الجاذبية فجأة ، فإن محاولتك الأولى للمشي سوف تدفعك بصورة بطيئة لا مفر منها عن الأرض نحو رحلة لا نهائية خلال خواء الفضاء ، وسوف تمضي الأرض نفسها بسرعة بلا توقف مبتعدة عن الشمس ، إلى أن تصبح الشمس بالنسبة لها مجرد نجم بعيد آخر في السماء المعتمة ؛ وسيبدأ البناء الكلي للكون في الانسحاق تدريجياً نحو عزلة موحشة غير متصلة بشيء ، وعلى ذلك تعتبر قوة الجاذبية قريباً مريحاً بالنسبة لنا وعاملاً أساسياً لوجودنا على سطح الأرض ؛ ومع ذلك ، فالجاذبية تعتبر ظاهرة طبيعية أخرى من الظواهر التي تبدو مختلفة تماماً عندما ينظر إليها من خلال أفكار البرت آينشتين ، قد تختلف طبيعتها الحقيقية عما تفترضه معاشتنا اليومية لها .

وتعرف أفكار البرت آينشتين عن وحدة المكان والزمان التي ناقشناها في الفصل الأول بما يسمى بنظريته الخاصة للنسبية (أو نظرية النسبية الخاصة) ، حيث تصف أفكاره المكان والزمان ، كما يرصدها أناس يتحركون بطريقة خاصة بالنسبة لبعضهم البعض ، وبطريقة خاصة لأنهم يجب أن يتحركوا بسرعة ثابتة وفي نفس الاتجاه . وبمعنى آخر ، يجب ألا يتكبدوا أي تسارع أو عجلة ، وأوضح

آينشتين أنه عندما يتحقق هذا الشرط ، فإن كافة القوانين الفيزيائية تسرى على الجميع ، فسوف يجدون جميعا أن عقارب الساعات المتحركة تتحرك بصورة أبطأ مما اعتادت عليه ، وأن المسافات قد انكمشت في اتجاه حركة الأشياء المتحركة بالنسبة لبعضها البعض . غير أن مهمة آينشتين التالية كانت تنصب على وضع الناس الذين لا تتفق حركتهم النسبية مع المعيار الخاص بعدم وجود التسارع . وعلى وجه الخصوص ، هل كان من الممكن استنباط نظرية فيزيائية ، بمعنى آخر وصف للأحداث ، يمكن تطبيقه بالتساوى على كل الناس ، بغض النظر عن الطريقة التي يتحركون أو يتسارعون أو يتباطئون بها ؟ وبحلول عام ١٩١٥ ، أصبح في استطاعة آينشتين الاعلان عن نتائجه ، فيما عرف بنظرية النسبية العامة .

وكانت الخطوة الكبرى الأولى في تفكيره المنطقي ، هي انشاء علاقة واضحة تربط بين ظاهرة التسارع وبين الجاذبية ، وتعنى تلك الرابطة التي تعرف بـ « مبدأ التكافؤ principle of equivalence » بين التسارع (العجلة) والجاذبية ، أن تأثيرات التسارع والجاذبية تعتبر واحدة . ولادراك هذا ، فسوف ندرس المثال الذي استخدمه آينشتين نفسه : تخيل أنك في داخل صندوق بلا نافذة بعيدا جدا في الفضاء ، بحيث تصبح قوة الجاذبية من الضعف لدرجة أنك لا تشعر بوجودها على الإطلاق . فأنت تسبح في حالة من « انعدام الوزن » ، منتظرا حدوث شيء ما . وبعد فترة من الوقت ، ولسبب غير معروف ، بدأت تشعر بوزنك مرة أخرى . فقد سقطت برفق على أحد جدران الصندوق ، وشعرت أنك أصبحت أثقل ، الى أن يبدو كل شيء كما لو كان الصندوق قد استقر برفق على سطح الأرض . ويمكنك أن تقف وتقفز لأعلى ولأسفل ، وتلقى بالأشياء في الهواء وتشاهدها وهي تسقط ، لكنك لا تستطيع أن تتسلق الى أعلى سقف الصندوق ، أو تسبح فيه بحرية ، مثلما كنت تستطيع من قبل . كيف يمكن تفسير هذا التغير ؟ سيكون أحد التفسيرات الواضحة أن صندوقك قد وقع تحت تأثير مجال جذبى حيث تعلمت من خبرتك على سطح الأرض أن ما تمر به الآن ، هو ما تبدو عليه الحياة في داخل مجال جذبى . وقد يكون هذا أحد المجالات الجذبية الجديدة ، أو أن يكون صندوقك قد استقر برفق على سطح الأرض . على أنه توجد امكانية أخرى مقنعة بنفس الدرجة ، وهي أن صندوقك بدأ يتسارع ، أى بدأ يكتسب عجلة .

ونحن نعرف جميعا الشعور بالتسارع ، عندما نجلس على متن طائرة في طريقها للهبوط على ممر أرضي ، أو حتى عندما تنطلق بنا

سيارة فجأة . فالتسارع يجعلنا نستشعر قوة تشدنا ظاهريا للخلف في الاتجاه المعاكس للتسارع . لذا ، فدرجة ملائمة من العجلة المنتظمة في صندوق خال من التأثير المعقد لجاذبية الأرض ، قد يجعلك تشعر بأنك منجذب نحو أحد جدران الصندوق بنفس القدر تماما كالذى تحدثه أية قوة جاذبية . ويعد هذا ادراكاً عميقاً — ان تأثيرات الجاذبية والتسارع واحدة ، او بمعنى آخر ، تأثير كل من الجاذبية والتسارع « متكافئان » .

كيف ساعد هذا التكافؤ آينشتين على تطوير نظرياته عن الجاذبية ؟ لقد قاده الى وصف تأثيرات الجاذبية ، مستخدما نفس الطرق التى يمكن ان يصف بها تأثيرات الحركة ، وخاصة الحركة المتسارعة .

واذا لاحظنا جسما يتحرك امانا دون تسارع ، بمعنى آخر يتحرك بسرعة ثابتة ، فسوف نجد انه يتحرك في اتجاه ثابت خلال العالم الرباعى الأبعاد من الزمكان . غير انه اذا بدأ يتسارع بعد ذلك ، فستصبح حركته حينئذ خلال الزمكان حركة منحنية . وقد شرحنا مصدر هذا الانحناء أو التكور في الفصل الأول : عندما تتغير سرعة الجسم بالنسبة لنا ، فانها تتخذ نوعا من « الدوران » فى الزمكان ، ويتغير الاتجاه الذى تنتقل خلاله فى الزمكان بشكل ثابت ، طالما كان متسارعا ، وان أى شئ متحرك بينما يغير اتجاهه على الدوام ، فانه يتحرك فى منحنى .

هذا عن الأشياء التى تتسارع ؛ فماذا عن الأشياء التى تواجه قوة الجاذبية ؟ فاذا كانت تأثيرات التسارع وتأثيرات التوقف فى مجال جاذبى متكافئة ، حينئذ فإى واحد واقف فى مجال جاذبى ، لابد وان يكون متحركا فى منحنى عبر الزمكان . كيف يمكن لأى واحد واقف ظاهريا فى الأبعاد الثلاثة للمكان ، أن يكون متحركا فى منحنى عبر الزمكان ؟ ان الناس بطبيعة الحال يتحركون دائما عبر الزمان ، وتبعاً لذلك يتحركون عبر الزمكان حتى لو كانوا واقفين ، هكذا يمكنهم أن يتبعوا مساراً منحنياً عبر الزمكان ، لو كان الزمكان نفسه منحنياً او متمزقاً بشكل ما فى المجال الجاذبى . تلك هى نتيجة آينشتين المدهشة : فالجاذبية تفاطر تشوها (سمها تكوراً ، التفافاً ، التواء — كيفما تشاء) فى نسيج الزمكان نفسه . فإن ما أسميناه مجالا جاذبياً ، يظهر فى الحقيقة انه مجرد منطقة من الزمكان قد أصبحت مشوهة بوجود المادة — بوجود الأجسام ذات الكتلة . وهكذا ، فوفقاً لنظرية النسبية العامة لآينشتين ، فقد ظهرت الجاذبية والقوة الجاذبية الظاهرية فى صورة مجرد تشوه فى الزمكان .

وعندما نقول ان اجساماً ذات كتل تولد مجالا جاذبياً ، فيجب ان نقول في حقيقة الامر ، ان السمة الاساسية للأجسام ذات الكتل ، هي انها تشوه بنية الزمكان . لقد ماتت الجاذبية ، فليعش الزمكان المنحنى !

وقد يبدو هذا مناقضا للمناقشة التي اوردناها في الفصل السابق ، والتي وصفت الجاذبية بأنها قوة محسوسة تعمل على جذب الأجسام ذات الكتل نحو بعضها البعض . ويوحى هذا التناقض الظاهري بشيء مهم عن طبيعة العلم ، وكيفية تطور المعرفة العلمية . فصحيح انه يمكن وصف تأثيرات الجاذبية بصورة دقيقة جداً ، على انها نتيجة لبعض قوى الجذب بين الأجسام ذات الكتل ، في حين يبدو صحيحاً على حد سواء وصف تأثيرات الجاذبية على انها بسبب أجسام ذات كتل تشوه الزمكان الموجودة فيه . ومن المقبول تماماً في العلم ، ان يكون هناك وصفان مختلفان في نفس الوقت لظاهرة حقيقية واحدة . وتوصف كل واحدة منهما على انها « نموذج » للحقيقة ، ويمكن ان يستخدم احياناً نموذجان يبدو من الظاهر انهما متمايزان ، بطريقة مشروعة تماماً في وصف الحقيقة الفعلية ، عندما ينظر اليها من خلال وجهات نظر مختلفة . فتعتبر فكرة الجاذبية على انها قوة جذب بسيطة ، النموذج الاقدم للجاذبية ، وقد نجحت تماماً . بينما تعتبر فكرة الجاذبية التي نشأت عن تكور الزمكان النموذج الاحدث ، فكرة ناجحة ايضاً ، بل تعتبر احياناً افضل . وقد يحل النموذج الاحدث تماماً محل النموذج الاقدم ، مثلما يحدث في الغالب في مجال العلم ، ولكن لا تزال الجاذبية في الوقت الحالي ، من الموضوعات التي يكتنفها بعض الجدل . وهذا شيء طبيعي جداً ومقبول ايضاً . فالعلم لا يمكن ان يوصف على انه عمل منته . فهو مجال عظيم النشاط والتغير ، وليس شيئاً من عدم اليقين والقوضى . وبمضي الزمن ، تتطور الأوصاف التي يقدمها العلم عن الحقيقة — أي النماذج المستخدمة — وهي تزداد قريباً من الطبيعة الصحيحة للحقيقة ؛ ومع ذلك فقد يجادل بعض الفيزيائيين في أن نموذجاً من نماذجهم هو المتفق مع الحقيقة بصورة دقيقة . وهذه نقطة يجب ان تأخذها في الاعتبار خلال مطالعتك لهذا الكتاب . انه تقرير عن التقدم في تطور وجهة نظر العلم عن الطبيعة ، وليس تلخيصاً نهائياً لعمل منته .

لذا ، فلا يزال يتحدث الفيزيائيون في الوقت الحاضر عن الجاذبية على انها قوة جذب تقليدية عندما يروق لهم التحدث عنها بهذا الوصف ، ولكن عندما يهتمون بالطبيعة المنصلة الصحيحة للظاهرة ، يفضلون حينئذ النموذج الذي تكون فيه التأثيرات الجاذبية ناتجة عن تكور الزمكان

المصاحب للأجسام ذات الكتل ، وهو ما يستشعرون على نحو متزايد بأنه أدق تمثيل للحقيقة .

وهكذا فإذا كانت الجاذبية قد نشأت نتيجة تكور الزمكان فما السبب في سقوط الأشياء على الأرض ؟ لماذا تدور الأرض حول الشمس ؟ لماذا تنجذب نجوم نحو بعضها البعض مثل الشمس وتتماسك في صورة مجرات شاسعة بالغة الضخامة ؟ فطبقاً للمنطق الذي استخدمناه في الفصل السابق ، يمكن نسبة جميع التأثيرات الى قوة الجاذبية الجاذبة لجميع الأجسام ذات الكتل نحو جميع الأجسام الأخرى . غير أن فكرة آينشتين عن الجاذبية ، تفسرها كنتيجة للحركة الطبيعية للأشياء خلال انحناء الزمكان . فالكرة التي تقع من أيدينا وتسقط على الأرض ، تكون بسبب « تلوى الزمكان للداخل » نحو الأرض ، وكلما تحركت الكرة عبر الزمكان ، تحتم عليها أن تتبع تلك الالتواءات . وتبدو لنا الأرض الدائرة حول الشمس ، وكأنها تتحرك في مسار منحن متكرر لا نهائي ، إلا أن ذلك يحدث لأننا لا نستطيع أن نرى انحناء الزمكان نفسه حول الشمس بطريقة مباشرة ، حيث أن الأرض في حقيقة الأمر تدور حول الشمس في المسار الأقصر ، أي في خط مستقيم ، عبر زمكان منحن .

ويبدو وكأن قوة الجاذبية قد تخلصت من قبضتنا ، واستبدلت بالتصور الخادع للأجسام التي تدور ببساطة عبر زمكان منحن بصورة غامضة . ويبدو ذلك بالنسبة لنا مسألة صعبة ومحيرة ، لأنه لا يمت بأية علاقة لتجربتنا اليومية المعاشة ، لكنه يجعل مفهوم الجاذبية في واقع الأمر أبسط الى حد ما ، بالسماح لنا بوصفه بلغة هندسية صرفة للنسيج الكوني ، الذي نسميه الزمكان .

يحاول بعض الفيزيائيين في طبيعة الأبحاث الجارية ، أن يروا إذا ما كانت كل القوى ، وليست الجاذبية وحدها ، يمكن أن تدمج في خطة هندسية مشابهة ، وأن كانت أكثر اتساعاً . وبمعنى آخر ، هل يمكن النظر لكل القوى على أنها مجرد نتيجة للأجسام المتحركة في خطوط مستقيمة من المسارات القصيرة عبر الزمكان الذي ينطوى ويلتف بطرق نجد صعوبة في فهمها ؟ لقد حدث تقدم ملحوظ في هذه الأفكار ، وتشتمل كلها على كون ذي أبعاد عديدة غير مرئية من الزمكان ، التي لا تظهر لنا بصورة مباشرة ، ولكن بصورة غير مباشرة فقط من خلال الظواهر التي نسميها « قوى » . فإذا كنت ستتابع تقدم العلم خلال السنوات أو العقود القليلة القادمة ، فسيء نفسك لأن ترى التطور والنجاح في

نظرية « شاملة لكل شيء » ، والتي ترى فيها جميع الأجسام الأحداث وكأنها ظواهر لهندسة معقدة من زمان مصحوب بعدد أكبر من الأبعاد المتزايدة (أحد عشر بعداً ، طبقاً لأفضل التخمينات حتى الآن !) عما هو معروف به في الوقت الحاضر . ويجرى في الوقت الحاضر وضع العديد من النظريات المرشحة لكل شيء ، وتوضع في تنافس مع بعضها البعض ، لكنه لم يثبت لاي منها نصر حاسم . فقد يخرج النصر النهائي للنظريات الفيزيائية من هذه الساحة قريباً ، فان ما اكتشفه آينشتاين عن الجاذبية ، القوة الطبيعية الأكثر الفة لنا ، قد يقودنا في النهاية الى غمهم موحد وشامل لكل القوى على أساس الهندسة المتغيرة للزمان .

الفصل الخامس

الطاقة

ENERGY

ما الذى نحتاج اليه لانشاء الكون ؟ ما هى قائمة العناصر الأساسية لورشة عملية الخلق ؟ لقد تناولنا فى الفصول السابقة من هذا الكتاب خمس ظواهر ، ستكون فى موضعها الصحيح على رأس القائمة وهى : المكان ، الزمن ، المادة ، والقوة والشحنة . أما الفنى المدقق والخبير فلن يكتب سوى أربع منها فقط : الزمكان ، المادة ، والقوة ، بينما لا يزال هناك شئ أساسى غائب عن القائمة : وهو الظاهرة المعروفة بالـ « الطاقة » .

وعلى العكس من المصطلحات العلمية العديدة ، يعتبر مصطلح الطاقة من المصطلحات الشائعة فى استخداماتنا اليومية . فقد نقول اننا ليست لدينا طاقة عندما نستيقظ فى الصباح ، وقد نتحدث عن توليد الطاقة الكهربائية فى محطات القوى ، وعن استهلاك سياراتنا لطاقة البترول ، وعن طاقة الغذاء التى نستهلكها بأنفسنا ، وهلم جرا ؛ لكننا نتناول المصطلح فى هذه الأحاديث بطريقة فضفاضة ، ولكى نفهم فكرة الطاقة على وجهها الصحيح ، يجب أن ندرك ما تعنيه الطاقة بالضبط .

فعندما كنا ندرس مادة الفيزياء بالمدرسة ، عرف معظمنا تعريفا قياسيا للطاقة على أنه « القدرة على عمل شغل » . ومما لا شك فيه ، فإن هذا التعريف يضع أقدامنا على الطريق الصحيح لفهم الطاقة ، لكنه يعرف الطاقة فقط بمصطلحات كلمة أخرى تستخدم بصورة فضفاضة نوعا ما فى لغتنا اليومية ، فيثار نفس السؤال ، ماذا نعنى بكلمة شغل ؟

أحدى الطرق الشائعة للتعبير عن الفكرة العلمية للشغل ، هي القول بأن « الشغل يبذل عندما يرفع وزن ، أو عندما تحدث عملية يمكن أن تستخدم من حيث المبدأ في رفع وزن » . ويشتمل هذا التعريف على رفع وزن معين (كيلو جرام واحد ، على سبيل المثال) الى ارتفاع معين (متر واحد ، على سبيل المثال) يمكن أن يستخدم كقياس معيارى للشغل ، يمكن من خلاله قياس العمليات الأخرى المستخدمة في الشغل ؛ ولكن ما الذى تتضمنه العملية الحقيقية للشغل ذاته ، ومن ثم الطاقة ذاتها ؟

إنها تخبرنا بأن الشغل يبذل عندما تحرك جسماً ذا كتلة ضد جذب قوة الجاذبية (أو تحرك في مسار آخر ، خلاف مساره الطبيعى عبر الزمكان المنحنى ، إذا قبلنا وصف الجاذبية الذى شرحناه في الفصل الرابع) . فادراك أن الشغل ينطوى على صراع ضد قوة ، يعتبر ادراكاً عميقاً واعياً لما نعنيه حقيقة عن الشغل والطاقة . ففى تعريفنا للشغل لا تستخدم قوة الجاذبية الا لمجرد أنها أكثر التمثيلات المألوفة للقوى الأساسية . وفى مضمار القوة الكهرومغناطيسية يمكننا بنفس الطريقة أن نقول أن الشغل يبذل عندما يسحب جسم مشحون بشحنة موجبة بعيداً عن جسم مشحون بشحنة سالبة ، فى مقاومة لقوة التجاذب، أو يقرب جسم ذو شحنة موجبة من جسم له نفس الشحنة ، ضد قوة التنافر . فيمكننا إذن أن نوسع تعريف الشغل الى « يبذل الشغل عندما يتحرك جسم ضد تأثير قوة أساسية من قوى الطبيعة » .

ويمكننا من خلال فهمنا لتعريف الشغل أن نبحث عن صورة أقرب لمعنى الطاقة ، التى عرفناها حتى الآن على أنها القدرة على بذل شغل . فإذا كانت الطاقة هى القدرة على بذل شغل ، والشغل يبذل عندما يتحرك شيء ضد تأثير قوة أساسية ، فمن الواضح أن الطاقة يجب أن تكون هى « القدرة على إحداث حركة ضد تأثير قوة أساسية » . ونستطيع أن نفكر فى ظاهرة الطاقة على أنها إحدى صور « قوة مقاومة ، أو حتى « قوة مضادة » ، حيث تشير القوة الى واحدة من القوى الأساسية .

فالطاقة هى خاصية مختزنة داخل ، أو كامنة فى ، أى جزء من أجزاء الكون الذى نعرفه بالقول بأنه « نظام » . ويمكن أن يكون النظام أى جزء نختاره من الطبيعة ، بدءاً من شيء صغير جداً كالذرة ، الى تجمعات مثل الخلايا الحية ، والكائنات الحية والآلات والتركيبات

الجيولوجية ، وصولا الى الكواكب والنجوم والمجرات كلها ، وحتى نصل الى الكون كله . ويشير في الغالب الى النظم المستوية على مقادير كبيرة من الطاقة ، على انها النظم « عالية الطاقة » او « الحالات » عالية الطاقة ؛ في حين تسمى النظم ذات الطاقة الأدنى بالنظم « منخفضة الطاقة » ؛ على الرغم من أن هذه التعريفات تصف الطاقة بمصطلحات نسبية بدلا من وصفها بكميات مطلقة .

وتعتبر الصخرة الموجودة في شرف جبل عال احدى الامثلة البسيطة لحالة الطاقة العالية ، ولكونها محتجزة على ارتفاع كبير عن سطح الأرض عما هو مفروض ، فإن وضعها ينطوى بشكل واضح على بعض « التحدي » للقوة الأساسية المسماة بالجاذبية . وطريقة أخرى لوصف هذا التحدي ، هي الإشارة الى أن قوة الجاذبية على استعداد تام لاجبار الصخرة على الهبوط لأسفل ، اذا ما حدث تغير مفاجيء في الظروف يسمح لها بذلك . فلو تقلقت الصخرة من الشرف المتصقة به ، وسمح لها بالسقوط فسوف ينتهي بها الحال بأن تستقر ثابتة على الأرض في حالة طاقة أقل من وضعها السابق . وعلى الأرض ، لم يعد لقوة الجاذبية ذلك الاستعداد لجعل الصخرة تسقط ، ومن الواضح أن تحدي وضع الصخرة للجاذبية سيكون أقل ؛ ولكن ماذا حدث للطاقة التي فقدتها ؟ هل انتقلت لمكان آخر ، أم اختفت ؟ والاجابة أنها انتقلت لمكان آخر . فقد تحولت الى نظام او نظم أخرى . وفي أبسط الحالات، تنتقل الطاقة الى الأرض عندما تصطدم الصخرة بسطح الأرض . فسوف تؤدي الصدمة الى تحريك جزيئات الأرض (الذرات والجسيمات والأيونات) من مكانها ، وكما سنوضح بالتفصيل بعد قليل ، تعتبر جميع الحركات شكلا من أشكال الطاقة . وبناء على ذلك ، فعندما تصطدم الصخرة بالأرض ، فإنها تندفع ضد جزيئات الأرض ، وتندفع جزيئات الأرض بدورها نحو الصخرة ، ويؤدي رد فعل الأرض هذا الى توقف الصخرة عن السقوط ، لكن ذلك يؤدي أيضا الى اهتزاز جزيئات الأرض بشدة ، عندما تضطرب بسبب اصطدامها بالصخرة . وتبدأ الطاقة التي كانت كامنة في الصخرة في البداية في التسرب بشكل منتظم خلال طبقات الأرض ، نتيجة اصطدامها بجزيئات الأرض . فالطاقة المختزنة في البداية في وضع الصخرة ، انتهى بها الحال الى حركة أكثر عنفا لجزيئات الأرض .

وتعتبر تحولات الطاقة هذه ، سمة أساسية لكل التغيرات ، ونقل الطاقة هو كل ما يمكن أن يحدث للطاقة ، ولنقتبس القول الفصل من

العلم المدرسى ، الذى ينص على أن : الطاقة لا تفنى ولا تستحدث ، لكنه يعاد توزيعها فى صورة أخرى . وسوف نجرى بعض التنقيح على هذه المقولة التقليدية الواضحة فيما بعد ، عندما نناقش العلاقة بين الطاقة والكتلة ، ولكن بعد تنقيح بسيط مستظل قولا فصلا أساسيا للعلم الحديث . فهناك قدر معين من الطاقة موجود بالكون ، وهذه الطاقة لا يعاد توزيعها الا أثناء التغيرات الطبيعية . غير ان احدى الحيل الطريفة البارعة لهذه الفكرة ، هى ان القدر المعين من الطاقة الموجود بالكون ، قد يصبح صفرا فى مجمله ، حيث يمكن وصف بعض أنواع الطاقة بطريقة رياضية على انها طاقة موجبة والبعض الآخر على انه طاقة سالبة ، فعندما ندرس الكون ككل ، فان الطاقة الموجبة تلغى الطاقة السالبة (انظر الفصل الثامن ، موضوع الخلق) .

وبعد أن ضربنا مثلا بسيطا جداً من نظام على الطاقة ولاحظنا كيفية تغيره الى نظام منخفض الطاقة ، فلنراجع قولنا بأن الطاقة المحتواة فى النظام تفى بشرط كونها قادرة على بذل شغل ، مثل رفع وزن . فإذا جعلنا قطعة الصخر تسقط على احد طرفى أرجوحة ، وكان شخص آخر يجلس على طرفها الآخر ، فمن الواضح ان سقوط قطعة الصخر على طرف الأرجوحة سيجعل الشخص يرتفع لأعلى ، ربما يرتفع قليلا ، ربما يرتفع كثيرا ، فالمقدار الذى يرتفعه يأتى تبعاً لحجم الصخرة ومدى سقوطها ووزن الشخص . فمهما كانت قيمة التأثير ، فمن المؤكد ان سقوط الصخرة سيكون له القدرة على بذل شغل ، وجعل هذا الشغل الشخص الجالس على طرف الأرجوحة يرتفع لأعلى ، متحدياً بذلك قوة الجاذبية ، فى حين ان تحدى الصخرة نفسها للجاذبية قد اختفى ، لذا ، فالطاقة التى اكتسبتها الصخرة فى البداية لكونها موجودة فوق الجبل ، قد تحولت الى وضع أعلى للشخص فوق الأرجوحة .

ومن السهل تماماً تصور السبب فى ان صخرة موجودة فى موقع مرتفع من جبل ، هى نظام على الطاقة . وفى حالات أخرى ، لا تكون الأشياء بنفس الوضوح . فالوقود الكيميائى مثل الفحم والبتروول والغاز وزيت البتروول الخام ، تعتبر أمثلة أخرى من النظم عالية الطاقة نسبيا ، فى حين أن أصل طاقاتها أكثر غموضاً نوعاً ما . فهى تحتوى على طاقة ، بسبب الترتيب الدقيق لمكوناتها الكيميائية ، وعلى وجه الخصوص ، ترتيب جسيماتها دون الذرية سالبة الشحنة المسماة بالإلكترونات ، وجسيماتها دون الذرية موجبة الشحنة المسماة بالبروتونات . وسوف نناقش محتوى الطاقة وتغيرات طاقة المواد الكيميائية بالتفصيل فى

الفصول الأخيرة ، لكننا سنناقش في الوقت الحالي هذا التعميم البسيط :
تحتوى المواد الكيميائية على طاقة ، لأن ترتيب الكتلونات وبروتوناتها
ينطوى على بعض التحدى للقوى الكهرومغناطيسية (تلك التى تجذب
الشحنات المختلفة نحو بعضها البعض ، وتطرد الشحنات المتشابهة
عن بعضها البعض) ، وايضا لأن الجسيمات المتكونة منها فى حالة حركة .

وهنا يبرز موضوع متكرر : تعتبر الحالات عالية الطاقة مرتبطة
بالاجسام التى تنطوى مواضعها على بعض التحدى لتأثير قوة
اساسية ، أو بالاجسام التى هى فى حالة حركة ، أو لبعض التوليفات
من هذين التأثيرين . ومن هنا يمكن التعرف على نوعين متميزين من
الطاقة : طاقة مرتبطة بوضع وطاقة مرتبطة بحركة . ويعرف هذان
النوعان من الطاقة فى العلم بمصطلحي « طاقة الوضع Potential energy
و « طاقة الحركة Kinetic energy » على التوالى ، واللذين يجب ان
نتناولهما بشكل أوضح .

تعرف الطاقة التى تكتسبها الاجسام بسبب اوضاعها « طاقة
الوضع » ، لأن لهذه الاجسام امكانية بذل شغل اذا
تغيرت مواضعها الى مواضع تشتمل على تحد اقل لقوة اساسية .
ولذلك ، فالصخور الموجودة فى مجال جذبى عال ، أو الاجسام المشحونة
شحنة كهربية موجبة ، التى تبعد مسافة قليلة من الاجسام المشحونة
شحنة كهربية سالبة ، يعتبران مثالين للنظم المحتوية على طاقة وضع ،
بسبب اجسام لها اوضاع تتحدى قوة الجاذبية الاساسية أو القوة
الكهرومغناطيسية الاساسية .

ويعتمد أى شئ متحرك له قدر معين من الطاقة الحركية ، على
مدى سرعة تحركه وعلى مقدار ضخامته . ولكى نفهم لماذا تكون
الاجسام المتحركة مكتسبة بعض الطاقة نتيجة لحركتها ، سنضرب مثالا
بسيطا جداً لكرة تتدحرج على سطح مستو لفترة من الزمن ، ثم يصادفها
بعد ذلك ثقل . فبسبب اندفاع الكرة ، فانها تأخذ فى صعود التل مسافة
ما ، مستفلة ما بها من حركة كدفعه لأعلى . ان هذا الصعود هو رفع
لوزن الكرة — وهو المعيار لاداء شغل . ومن هنا نرى ان الحركة قد
استغلت لبذل بعض الشغل بالفعل ، متمثل فى رفع وزن الكرة نفسها ،
وبذلك فالكرة تمتلك بعضا من الطاقة بسبب حركتها .

تعتبر الطاقة الحركية للحركة والطاقة الوضعية للوضع صورتين
اساسيتين من صور الطاقة ، وقابلتين للتحويل من احدهما للآخرى .

فهما يتحولان بصورة تبادلية عندما تتساق كرتنا منحدرها . فعندما تصعد الكرة أعلى المنحدر ، تتناقص طاقتها الحركية للحركة ، بينما تزايد طاقتها الوضعية للوضع ، طالما كان صعود الكرة لأعلى متحدثا الجاذبية . وفى النهاية ، تتوقف الحركة الصاعدة ، وعند هذه النقطة تكون كل طاقتها الحركية الأولية قد تحولت الى طاقة وضع . وإذا لم توجد آلية تحفظ الكرة فى وضعها الجديد هذا ، فستبدأ على الفور فى السقوط مرة أخرى ، حيث تتحول طاقتها الوضعية مرة أخرى الى طاقة حركية ، عندما تتحرك فى الاتجاه العاكس الذى بدأت منه الصعود . وإذا وجد منحدر مشابه فى الاتجاه المقابل من النظام ، فسوف يضمن استمرار التحول التبادلى بين الطاقة الحركية والطاقة الوضعية . فإذا استطعنا جدلا التخلص من قوى الاحتكاك بين الكرة والأسطح التى تتدحرج عليها ، وإذا استطعنا تجنب مشكلة مقاومة الهواء ، بجعل الكرة تتدحرج فى خواء ، فسوف تتدحرج الكرة جيئة وذهابا للأبد ، أولا الى أعلى أحد المنحدرات ، ثم تهبط منه وتصعد الى المنحدر الثانى ثم تهبط منه وهكذا ، فى دورة غير منتهية من تحول الطاقة حركية الى وضعية الى حركية الى وضعية ... : حركة سرمدية !

وبطبيعة الحال ، فى العالم الحقيقى سوف يؤدى الاحتكاك ومقاومة الهواء الى توقف الكرة تدريجيا عن الحركة ، عندما تتبدد طاقة الكرة على السطح الذى تتدحرج فوقه وفى الهواء المحيط بها . وهذا « التبدد » للطاقة بسبب الاحتكاك ومقاومة الهواء (والذى يعتبر فى الحقيقة مجرد احتكاك بين الكرة والهواء) يكون فى الواقع بسبب التصادم بين ذرات الكرة وذرات السطح الذى تتدحرج فوقه ، وذرات الهواء الذى تواجهه . فهذه التصادمات تجعل بعض ذرات السطح والهواء ترتج وتنتقل بسرعة أكبر ، ونتيجة لذلك تكتسب طاقة أكبر ، عندما تصطدم ببعضها البعض وتندفع نحو الذرات الموجودة على سطح الكرة . وستتباطأ الكرة بدورها بسبب هذه العملية ، عندما تندفع ذرات السطح والهواء الى سطح الكرة ، فى الاتجاه العاكس لحركتها ، عندما تحاول الكرة التحرك فوق السطح وخلال الهواء .

وقد عرفنا وناقشنا الآن الطاقة بصورة مجملية ، بينما لا تزال هناك مفاجآت مختزنة ، عندما نفحص ظاهرة الطاقة بشكل أكثر تفصيلا . لم يكن الفكر العميق للبرت آينشتين قاصرا على اسقاط وجهات النظر الكلاسيكية عن المكان والزمان والجاذبية ؛ فقد تحول اهتمامه أيضا الى الطاقة ، والى العملية التى غيرت بشكل جذرى مفاهيم كل من الطاقة والكتلة .

ونتذكر من الفصل الثانی ، انه كلما ازدادت سرعة الأجسام ، ازدادت ضخامتها ، نتيجة لذلك تصبح أثقل ، والتي فسرت كنتيجة لحقيقة عدم وجود شيء ينطلق بسرعة اكبر من سرعة الضوء . فاذا تخيلنا جسما يتعرض لسلسلة من الدفعات ، وينتج عن كل دفعة زيادة اقل في السرعة من الدفعة السابقة لها ، وتسبب زيادة هائلة في كتلة الجسم . وهى الآن تأخذ الطاقة لتعطى الجسم دفعة . وعندما تدفع الجسم ونكسبه عجلة ، فانتا نبذل فيه شغلا ، وتذكر ان الطاقة حسب تعريفها ، هى القدرة على بذل شغل . لذا فكل دفعة على مركبة فضائية ، على سبيل المثال ، والتي يصحبها احتراق قدر محدد من وقود الصاروخ ، سوف يمد المركبة الفضائية بقدر متساو من الطاقة . ما الذى تفعله هذه الطاقة ؟ فى البداية ، يكون تأثيرها الاكثر وضوحا فى زيادة سرعة المركبة الفضائية ، لكننا نعرف ايضا ان هذا التأثير سيزيد من كتلة المركبة الفضائية ، كلما تسارعت المركبة واقتربت من سرعة الضوء ، لذا سيصبح تأثير زيادة الكتلة هو التأثير السائد . طاقة تزود بها المركبة الفضائية وتعمل على زيادة كتلتها .

كان هذا هو الأساس المنطقى ، لما قد يسكون من أهم اكتشافات آينشتين الشهيرة : يمكن للظاهرة التى نسميها طاقة أن تخلق ظاهرة يمكن أن نسميها كتلة . ومن الواضح انه توجد علاقة قوية بين الطاقة وكتلة المادة . وقد صاغ آينشتين هذه العلاقة فى كلمات : « ان كتلة أى جسم هى مقياس محتوى طاقته » ؛ وتصاغ بشكل رمزى كهذا : $E = mc^2$.

تعتبر هذه المعادلة من اشهر المعادلات فى العلم ، التى توضح أن الطاقة (ط) لاي جسم (ط : مقياسه بوحدات الجول) تساوى كتلته (ك : مقياسه بالكيلوجرامات) مضروبة فى سرعة الضوء (س : بالمتر فى الثانية) ، وبعد ذلك تضرب مرة أخرى فى سرعة الضوء (بمعنى آخر أن $E = mc^2$) . والوحدات والأرقام الدقيقة لا تهنا هنا اذا رغبتا ببساطة فى أخذ فكرة عن المبادئ . فالمبدأ الأساسى هو ان الطاقة يمكن أن تعمل على خلق كتلة ، والعكس صحيح ، يمكن أن تعمل الكتلة على توليد طاقة . والطريقة الأكثر دقة للتعبير عن العلاقة ، هى القول بأن كل طاقة أيضاً بها قدر معين من الكتلة ، وكل الكتل بها قدر معين من الطاقة ، بمقادير تحدها المعادلة $E = mc^2$.

هذه العلاقة بين الكتلة والطاقة ليست ببساطة مبدأ ملفزا من مبادئ الفيزياء ، فهى العلاقة التى تقف وراء الطاقة المنبعثة من الأسلحة

النووية ومحطات القوى النووية ومفاعل الاندماج النووي الذى نسميه بالشمس .

ففى اى تفجير نووى ، يتحطم بعض من المادة لينطلق منه مقدار مناظر من الطاقة (فى صورة حرارة ، وفى صورة ضوء ، وصور أخرى) . وفى قلب محطة قوة نووية ، يستمر اطلاق الطاقة الكامنة فى جسيمات المادة بطريقة أكثر احكاما ، وتحرر الطاقة التى تعمل على غليان الماء ، لتوليد البخار الذى يدير ريش توربينات مولدات الكهرباء . وفى الشمس ، تندمج ذرات المادة مع بعضها البعض لانتاج ذرات جديدة مكتسبة كتلة اقل من كتلة الذرات الأصلية ، وينظرها انطلاق طاقة فى صورة حرارة وضوء واشعاعات أخرى .

ولتلخيص ما سبق ، فالطاقة والكتلة ، بدلا من كونها ظاهرتين متميزتين تماما ، فانهما يرتبطان سويا فى علاقة حميمة : كتلة أى جسم هى مقياس محتواه من الطاقة ؛ لذا فان الكتلة ، وبالتالي المادة يمكن اعتبارها صورة من صور الطاقة الحبيسة . محبوسة ، لكنها تنتظر دورها للانطلاق .

دعنا نعيد النظر فى « قائمة محتوياتنا عن الخاق » بشكل مختصر قبل أن نمضى فى البحث . بالنسبة للزمكان والمادة والقوة والشحنة ، يمكننا أن نضيف اليها الآن الطاقة . لكننا قد رأينا لتونا أن الطاقة والكتلة يمكن اعتبارهما سمتين لنفس الظاهرة ، تلك الظاهرة التى وصفت بأشكال متعددة فى صورة كتلة - طاقة ، أو مادة - طاقة أو أن شئت نحتسبها لها مصطلحاً وليكن « كتطاقة massergy » أو « مادطاقة mattergy » (١) . لذا فقد أصبحت قائمة محتوياتنا مختصرة مرة أخرى ، الى زمكان وكتلة - طاقة وقوة وشحنة . أربعة مكونات تصنع الكون ، بما فى ذلك كل حياته ! وسيكشف بقية هذا الكتاب عن كيفية تمازج هذه المكونات بصورة فعلية مع بعضها البعض لتصنع الكون وحياته ، وسوف تقابلنا أيضا احتمالات لاختصار قائمة المحتويات مرة أخرى .

الجسيمات

PARTICLES

يمكن لمن لديه نزعة التفلسف في مجال العلم قضاء وقت طويل قادحا الذهن حول ايجاد علاقة بين الكل بالجزء . هل الكل « مجرد » مجموع لأجزائه ؟ هل الكل أكثر من مجموع أجزائه ؟ هل يحدث شيء غامض وسحري وخفى عندما تتجمع الأجزاء وتتفاعل مع بعضها لتكون الكل ؟ الشيء الذي نادرا ما يشك فيه هو فكرة أنه من المفيد — على الأقل لبعض الأغراض — النظر الى البنائيات الكبيرة في الكون — « الكليات » — على أنها مكونة من عديد من الأجزاء الأصغر . وعلى ذلك ، فالى أى مدى يمكننا المضي في عملية تحليل الأشياء الى أجزاء أصغر ؟ والاجابة البسيطة المستقاة من العلم المدرسي ، هي اننا نستطيع الاستمرار في تقطيع الأجزاء الى جزيئات أصغر حتى نصل الى كيانات دقيقة تعرف بالجسيمات ، بالرغم من أن بعض الجسيمات يمكن تقطيعها الى جسيمات « أساسية » أصغر منها . ويجب الا يتهيب أحد من مصطلح جسيمات ، فهو لا يعنى في الحقيقة سوى أجزاء صغيرة . ومع ذلك يستخدمه العلماء لوصف سلسلة معينة من الأجزاء الصغيرة في الكون ، والتي تسمى أكبرها بالجزيئات ، والتي يليها الذرات عندما تنتقل الى جزيئات أصغر في الحجم ، ثم البروتونات والنيوترونات فالكواريكات والالكترونات على سبيل المثال لا الحصر للجسيمات المألوفة . وفي هذا الفصل ، سوف نقاش ماهية هذه الجسيمات وما هي الفروق وأوجه الشبه بينها ، ولماذا تنال هذا القدر من الأهمية والتأثير .

وتعتبر أبسط أنواع الجسيمات التي يفهمها غير العلماء ، جسيمات المادة — وبمعنى آخر ، قطع المادة الصغيرة التي يصل اليها المرء في

النهاية عن طريق تفتيت قطعة كبيرة من المادة الى قطع أصغر . ومن حيث المبدأ ، (وعلى الرغم من صعوبة التطبيق العملى) ، يمكن للمرء ان يأخذ قطعة من معدن الحديد على سبيل المثال ، ويهشمها الى قطع صغيرة ، ويهشم القطع الصغيرة الى قطع أصغر منها ، ويستمر فى عملية التهشيم والتفتيت الى قطع أصغر الى أن يحصل على مجموعة من ذرات الحديد . وهذه الذرات هى الأجزاء الأصغر من قطعة حديد ، انتهى لا تزال تسلك السلوك الكيميائى كالحديد : بمعنى آخر ، التى يمكن أن تشارك فى نفس التفاعلات الكيميائية كأجزاء الحديد الكبيرة . غير ان الذرات لا تعتبر الجسيمات « الأساسية » غير القابلة للانقسام ، حيث يمكن أن تنشط الى ثلاثة أنواع من جسيمات أصغر « دون ذرية sub-atomic » ، التى يطلق عليها البروتونات والنيوترونات والالكترونات . فإذا شططنا ذرة الحديد ، فسنجد ستة وعشرين بروتونا وستة وعشرين الكترونا ، ويحتمل أن نجد ثلاثين نيوترونا (حيث يمكن أن يتغير عدد النيوترونات فى أى ذرة) . وبقدر ما هو معروف ، لا يمكن أن تنشط الالكترونات الى وحدات أصغر منها ، فهى تعتبر الجسيمات الأساسية الحقيقية : فى حين يتكون كل بروتون ونيوترون من ثلاثة جسيمات أساسية أصغر منه تعرف بالكواركات (بالرغم من أن أحداً لم يستطع حتى الآن أن يشطره الى كواركات حرة ، وقد يكون هذا الانشطار مستحيلاً) .

وعلى ذلك تعتبر جسيمات المادة مثل الذرات والبروتونات والنيوترونات والالكترونات ، هى مجرد أجزاء صغيرة من المادة ؛ ولكن ما هى حقيقة هذه الأجزاء ؟ فقد يستهويننا أن نفترض أنها يجب أن تكون مماثلة لما نسميه فى حياتنا اليومية بالمادة ، لكنها أصغر منها ليس الا . لذلك فهناك بالمثل من يستهويه أن يفترض أن هذه الجسيمات هى أجسام أصلب قليلاً مثل كرات حمام السباحة الصغيرة أو كرات البلياردو . ولسوء الحظ يعتبر هذا الفرض فرضاً ساذجاً لا طائل منه . ولكى نصل الى فهم حقيقى عن تركيب الطبيعة ، فيجب أن نتجنب معظم تصوراتنا البسيطة السابقة لخبراتنا عن الطبيعة . وقد اضطررنا بالفعل أن نتخلى ، أو على الأقل أن نكيف أفكارنا اليومية عن المكان والزمان والجاذبية . فعندما نختبر الطبيعة الحقيقية للجسيمات ، سوف نحتاج الى التخلي عن أفكارنا اليومية عن المادة . ففى عالمنا اليومى ، تعتبر المادة قواماً لشيء محسوس صلب . ويمكنك أن تصنع بيدك مادة جدار حائط صلب ، وأن تمسك بمادة صلبة من الحجر فى يدك ، وتشعر بصلاية المادة الشديدة بجسمك عندما تجلس فوق مقعد . بينما تتبخر صلابة

المادة وتماسكها عند تفحصها بتفصيل أدق . وسوف نجد في النهاية (في الفصل السابع) أن تلك المادة تنزلق من قبضتنا الى تجريد طيفي نوعاً ما . ويجب ألا يثبط هذا من عزيمتنا عن المضي في محاولة معرفة الكثير عن جسيمات المادة . فبمجرد أن تبدأ المادة تحيرنا وتذهلنا ، فأننا نبدأ في تقدير طبيعتها الحقيقية حق قدرها . وكبداية ، يجب أن نبدأ في التفكير في الجسيمات ، بما فيها جسيمات المادة ، على أنها ظواهر بدلا من كونها كرات صلبة دقيقة . فجسيمات المادة ليست كرات صلبة دقيقة من المادة ، على الرغم من أنها تتصرف كما لو كانت كذلك ، لكنها ظواهر مثيرة للاهتمام في عالم الزمكان ، لم يتم فهمها على الوجه الصحيح .

وهناك بعض أنواع من الجسيمات لا يمكن حتى وصفها بجسيمات المادة ، لأنها لا تملك « كتلة سكون » ، أي أنها ليست لها كتلة على الإطلاق عندما تكون ساكنة (غير متحركة) . ولا يزال بعض الناس يتساءلون في تعجب عن وجود مثل هذه الجسيمات على الإطلاق ، إذا كانت لا تحتوى على مادة ، ولكن عندما نعتبر كل الجسيمات كظواهر ، يجب أن نحاول تقبل هذه الجسيمات عديمة الكتلة كظواهر حقيقية ، تماما مثلما نعتبر أشياء غريبة مثل الآراء والاتجاهات ومعدلات التضخم والتغيرات ، ظواهر حقيقية في عالم حياتنا اليومية ، على الرغم من أننا لا نستطيع أن نمسك بها أو نضعها في قبضة أيدينا .

وسوف نكتشف المزيد عن الجسيمات عديمة الكتلة في الحال ، ولكن قبل أن تبدأ أقدامنا في الانزلاق في منحدر لأسفل الى الأعماق المظلمة من الفيزياء والفلسفة الكلاسيكية ، دعنا نعود خطوة للوراء ونحاول استعادة اتزاننا ، بتعلم المزيد عن الخصائص التي جعلت الجسيمات تبدو بهذه الصورة .

يمكن وصف معظم الجسيمات من خلال قائمة بها ستة خصائص أساسية ، أو « احصاءات حياتية » (*) . فالإحصاء الحيوى الأول لاي جسيم هو كتلته — أى مقياس لكم المادة التى تناظره ، ومدى قوة المجال الجذبي الذى يخلقه ، ومقدار ثقله ، وتبعاً لأينشتين ، مقدار تسكور الزمكان المصاحب له .

(*) احصائيات حياتية : احصائيات الاحياء (كالمواليد والوفيات) . قياس استدارة خصر المرأة ومصدرها وارتدائها . معجم المفنى الكبير حسن كرمى - (المترجم) .

والاحصاء الحياتى الثانى ، هو شحنته الكهربائية ؛ هل هو موجب الشحنة ، أم سالب الشحنة ، أم غير مشحون كهربيا على الإطلاق ؛ وفى حالة ما اذا كان يحتوى على شحنة كهربية ، ما مقدار الشحنة التى يحتويها ؟ وهناك طريقة أخرى للإجابة عن نفس السؤال ، هى القول بأنه هل كان الجسم « يحس » أو « لا يحس » بالقوة الكهرومغناطيسية ، وإذا كان الأمر كذلك ، فبأى طريقة وإلى أى مدى .

وتدلنا كتلة أى جسيم على علاقته بالقوة الجذبية ، وتدلنا شحنته الكهربائية على علاقته بالقوة الكهرومغناطيسية ؛ لكنه توجد قوتان أخريان ، القوى النووية القوية والضعيفة ، التى ينبغى أن نعرفهما أيضاً . لذا فالاحصائيان الحياتيان رقم ثلاثة وأربعة هما حجم وطبيعة « شحنة القوة القوية strong charge » (مدى الاحساس بالقوة القوية ، اذا ما وجد مثل ذلك الاحساس ، والذي يتضمن من الناحية الفنية ظاهرة يسميها الفيزيائيون بالـ « لون colour » ، وحجم وطبيعة « شحنة القوة الضعيفة weak charge » (مدى احساسه بالقوة الضعيفة ، اذا ما وجد على الإطلاق) .

ولا توجد سوى معلومتين أخريين مطلوبتين لتلخيص الخصائص الأساسية لأى جسيم . فالأولى هى متوسط عمره life time وهو المدى المتوقع لبقائه . وأفضل قياس له يأتى من خلال « نصف عمر half life » الجسيم ، وهى الفترة المقطوعة لنصف عدد كبير من الجسيمات لكى تتحلل الى شئ آخر . ويعتبر هذا القياس غير المباشر نوعاً ما لمتوسط العمر مطلوب لأنه مشابه الى حد بعيد لحياتنا ، فمتوسط عمر أى جسيم مقدماً لا يمكن أن يحدد بصورة دقيقة ، ولا يمكن توقعه بصورة دقيقة مقدماً ؛ فى حين أن التغيرات فى متوسطات الأعمار ، تصل من خلال عينة كبيرة لتعطى نصف عمر دقيق جداً ، ويمكن أن يتراوح ما بين أكثر قليلاً من واحد من تريليون من الثانية الى عدة بلايين من السنين . ويبدو أن بعض الجسيمات تدوم لفترة طويلة ، حتى يشار إليها غالباً بأنها « ثابتة » ، أى أنه يمكن اعتبار متوسط أعمارها غير منتهية (لا محدودة) .

وتعرف الاحصائية الحياتية الأخيرة لأى جسيم بما يسمى « اللف Spin » ويمكن تعريفها بصورة تقريبية على أنها مقياس للمدى الذى يدور فيه الجسيم حول محوره . وهذه ، على رغم ذلك ، لا تعدو أن تكون طريقة غير دقيقة نوعاً ما لتخيل ظاهرة غريبة .

ومن ثم ، فالكتلة والشحنة الكهربائية والشحنة الضعيفة والشحنة القوية ونصف العمر واللف ، هي الاحصائيات الحياتية الست للجسيمات ، التي تعطينا معلومات عن علاقة أى جسيم بالقوة الجذبية والقوة الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة والقوة القوية ، ومدى دوامها ، والطريقة التي تتغير بها خواصه عندما يتحرك فى الزمكان . وهناك أشياء أخرى ، يجب أن نقولها عن بعض الجسيمات ، حتى نصفها بشكل كامل ، لكن هذه الأشياء الست الرئيسية هي ما يجب أن نعرفه عنه أولا .

وترتبط الاحصائيات الحياتية لجسيم ببعضها البعض عادة على النحو التالى : يمكن تقدير الكتلة بـ « وحدات الكتلة الذرية atomic mass units » ، وهي الوحدة التي تضع كتل البروتونات والنيوترونات بشكل ملائم قريب جداً من الواحد ؛ أو يمكن أن تعطى الكتلة على أساس الطاقة المصاحبة للكتلة ، كما تحددها المعادلة $E = mc^2$. وتذكر أن كل جسيم أيضا سيكون له كتلة تكون أساسية ، وسلسلة من الكتل الأكبر المناظرة لكتلته عندما يتحرك بسرعات معينة . وتقدر الشحنة الكهربائية على أساس الشحنة الموجودة على بروتون ، أو على الكترون ، - 1 ، بحيث أن أى جسيم ستكون شحنته مساوية للصفر ، إذا لم يحس بالقوة الكهربائية ، أو زائد أو ناقص بعض المضاعفات أو الكسور لـ + 1 أو - 1 ، إذا أحس بالقوة . وفي ملخص موجز للجسيمات ، فمن المعتاد تماما أن نذكر ما إذا كانت أو لم تكن تحس بالقوتين النوويتين الضعيفة والقوية . ويمكن تقدير أنصاف العمر ببساطة سواء بالثواني أو بالسنين ، فى حين تعطى اللف كمضاعفات لمقدار أساسى له ، فيوصف الجسيم مثلا بأنه ذو لـ 1/2 ، كما يمكن أن يكون اللف موجبا أو سالبا ، مناظرا للدوران فى الاتجاهات العكسية .

ان موضوع هذا الفصل هو الجسيمات بصفة عامة ، وليس اية جسيمات خاصة . وسوف نقابل العديد من الجسيمات الخاصة للمادة فى الفصول الأخيرة ، وسنذكر أى احصاءات حياتية متعلقة بها . وحاليا ، سوف نناقش أحد الخصائص التي تسمح بوضع كل الجسيمات فى واحدة من فئتين أساسيتين .

فتبعاً لنظرية فيزيائية حديثة ، تعتبر القوى التي تجذب وتدفع جسيمات المادة ، هي نفسها تأثير تبادل مجموعة أخرى من الجسيمات ، « تحمل » أو تحدث تأثير القوى . ولنضرب مثلاً بالالكترونات ، الجسيمات المعروفة من المادة التي تحمل شحنة كهربائية سالبة . فالالكترونات القريبة من أحدهما الآخر ، يتبادلان بسبب التأثير التنافري للقوى الكهرومغناطيسية . وتقول نظرية فيزيائية حديثة ان هذه الحركة تحدث نتيجة تبادل الجسيمات الحاملة للقوة بين الالكترونين . وعلى ذلك يجب ان يوجد لكل قوة أساسية واحد أو أكثر من الجسيمات المناظرة الحاملة للقوة أو « الجسيمات الوسيطة » ، التي تنتقل بين الجسيمات المستجيبة للقوة وهي التي تحدث بالفعل هذه الاستجابة . وتسمى الجسيمات الحاملة للقوة الكهرومغناطيسية بالفوتونات photons ، وهي مناظرة للجليونات gluons التي تحمل القوة القوية ، والجرافيتونات gravitons التي تحمل القوة التجاذبية (أو هي المسؤولة عن تكور الزمكان المصاحب للجاذبية ، اذا استخدمنا وصف التكور للجاذبية) ، والجسيمات المعروفة ببساطة بالحرفين W و Z ، التي تحمل القوة الضعيفة . وسوف تعرف الكثير عن هذه الجسيمات الحاملة للقوة في الفصل السابع ، ولكن يجب ان نعرف في الوقت الحالي ان هناك فئتين كبيرتين من الجسيمات : الجسيمات التي تعتبر حاملات للقوة (والتي تنتمي جميعها الى طائفة الجسيمات المعروفة bosons « بوزونات ») ؛ وجسيمات المادة ، تلك المتأثرة بحاملات القوة (١) .

وهناك بساطة طريفة موجودة في صميم الجسيمات التي تشعر بالقوى ولكن لا تحملها . وهي ان جميع جسيمات المادة هذه تتكون من أربعة جسيمات أساسية . ويعرف اثنان من هذه الجسيمات بالـ « كواركات » ، وهما على وجه التخصيص ، الكوارك « الصاعد up quark » والكوارك « الهابط down quark » ؛ بينما يسمى الجسيمن الآخران بالـ « لبتونات leptons » ويضمّان الالكترون المألوف ، وقريبه الأقل ألفة « نيوترينو الكترون » .

وعلى ذلك ، فلكي ننشئ عالماً ، نحتاج الى الجسيمات المدونة في (جدول ٦ - ١) . وهناك جسيمات أخرى ، لكنه يمكن اعتبارها جميعاً مؤلفة من هذه الأنواع الأساسية أو الأولية . وعلى سبيل المثال ، يتكون البروتون ، من اثنين من الكواركات صاعدة وكوارك هابط ، ويتكون النيوترون من اثنين من كواركات هابطة وكوارك صاعد ، الخ والجزيئات والذرات الأكبر ، والتي تعتبر من

الجسيمات التي يعرفها معظم الناس ، تتكون من أعداد متنوعة من البروتونات والنيوترونات والالكترونات . وسوف نعود للحديث عن تركيب وسلوك الذرات والجزيئات ، بشيء من التفصيل ، عندما نبدأ في النظر الى الطبيعة الشاملة للكيمياء والبيولوجيا (بدءاً من الفصل التاسع فصاعداً) ، بدلا من الفيزياء الأساسية .

وهناك تعقيد واحد أخير : المجموعة الأساسية المكونة من كواركين ولبتونين الموضحة في جدول ٦ - ١ ، نجدها منظرية بالفعل لجيلين آخرين من الجسيمات المتشابهة ، التي يمكن أن تنشأ بصورة اصطناعية في معجلات الجسيم عالي الطاقة ، لكنها لا تعتبر من مكونات المادة اليومية . ويتكون الجيل الثاني من « الكوارك الفاتن *charmed* » و « الكوارك الغريب *strange* » ، و « الميون *muon* » و « الميون - نيوترينو *muon-neutrino* » . ويتكون الجيل الثالث من « الكوارك العلوي *top* » و « الكوارك السفلي *bottom* » ، الذي يفاظر الـ « التيون *tauons* » و « النيوترينو - تيون » . ولا تعنى الأسماء شيئا مهما ، فهي مجرد عناوين اختيرت لأسباب أغلبها ثرثار نوعا ما . والفرق الأساسي بين أعضاء الجيل الثاني والثالث وأعضاء الجيل الأول ، هو أن جسيمات الجيل الثاني والثالث ، تعتبر أثقل من مثيلاتها الموجودة في الحياة اليومية ؛ وإذا اهتمنا فقط بتركيب المادة اليومية في العالم حولنا ، يمكننا أن ننسى الأجيال العليا تماما . ويمكن فهم العالم حولنا على أساس أربعة جسيمات أساسية - الكواركات العليا والسفلى ، الالكترون والالكترون - نيوترون ، بالإضافة للجسيمات حاملة القوى : الفوتونات ، والجليونات ، والجرافيتونات ، وجسيمات *W* و *Z*

وعندما تتأمل « غابة الجسيمات » هذه ، ستقابل العديد من المخلوقات الغريبة ذات الخواص والأسماء غير مألوفة ، تذكر أنك لا تحتاج للاحتفاظ في ذاكرتك إلا بالمبادئ الجوهرية والمفاهيم المبسطة لعالم الجسيمات (٢) .

ويمكن النظر الى الجسيمات بصورة أفضل على أنها ظواهر متميزة موجودة في الكون ، غالبا ما تكون لها خواص أكثر غرابة ، مخالفة للأجسام الصلبة التي نراها يوميا كالصخور والأحجار . وعندما نتخلى عن فكرة الجسيمات على أنها كرات دقيقة صلبة ، فسندخل تقدما عظيما في فهمنا للعالم الدقيق ، لسبب جوهري ، فهي ليست ثابتة على حال واحد ، بل يمكن أن تبنى ، متحولة الى صورة نقيية من الطاقة

بالضبط كما يمكن أن تخلق من لا شيء سوى الطاقة ، وهي قد تظل لبرهة من الزمن ، ثم إما أن تعود الى طاقة نقية أو « تنحل » الى أنواع أخرى من الجسيمات . والأمر كما لو كان أن « نسيج الزمكان الكوني » ، أيا كان ذلك ، يمكن أن يلتف على نفسه ، متخذا عدة أقنعة مختلفة ، هي ما نسميها جسيمات ، كما يمكن أن يفك نفسه ، فتختفي تلك الجسيمات . وكل نوع من الجسيمات له مجموعة مختلفة من « الاحصاءات الحياتية » مختلفة عن الأنواع الأخرى ؛ كتلة مختلفة ، وشحنة ولف ، الخ . — وهذه الاحصاءات أو الخصائص ، هي التي تحدد ما عمله وما يحدث لها . أما الأسماء التي نعرف من خلالها الجسيمات فلا تعتبر شيئا جوهريا ؛ فما يمكن أن عمله ، بمعنى آخر خصائصها ، هو كل ما يهمنا .

وفكرة « نسيج الزمكان الذي يمكنه أن يلتف في جسيمات مختلفة » ليست مجرد تشبيه بليغ ، فكما رأينا في الفصل الرابع ، هناك فرع من الفيزياء النظرية يحاول تفسير كل شيء ، بما فيه كل الجسيمات وكل القوى ، على أساس الهندسة الملتوية للزمكان ، بنفس الطريقة التي وصفت بها الجاذبية على أساس الزمكان المنحني بتأثير المادة . ولم تكتمل النظريات بعد ، لكنها تعطى الأمل في وجهة نظر بسيطة على نحو رائع عن الكون ، على صورة زمكان يرتجف ويلتوى ، ويتغير عن طريق التواء أجزاء ، أو فك التوائها (٣) . وفي النهاية ، فقد تأتي هذه الأفكار بتغييرات جذرية في فهمنا للفيزياء ، وتبين أن السكان الحاليين لغاية الجسيمات ، ما هي الا مبتكرات غير حقيقية وناقصة للعقل البشري ، ليست سوى نمذجة فضفاضة للحقيقة . وسوف تتركنا ثورة كهذه مدينين باعتذار نقدمه للاغريق القدماء ، الذين أصروا على أن المادة متصلة ، برغم الآراء السائدة لديمقريطس (*) ، الذي زعم أنها تتكون من جسيمات قليلة غير قابلة للتجزئة ، وهكذا وضع بذرة العلم الحديث لفيزياء الجسيم . وقد يكون الكون كله بالفعل متكونا من « شيء » ملتو متصل ، تتصرف التواءاته المحكمة الشد كجسيمات متميزة ، دون أن تكون في الحقيقة جسيمات متميزة على الإطلاق . وإذا كان الأمر كذلك ، حيثئذ يمكن اختصار قائمة محتويات الخلق التي ناقشناها من قبل الى بند واحد فقط : الزمكان ، ووصفة الخلق الى مجرد عملية واحدة أساسية : الالتواء .

(*) ديمقريطس (٤٦٠ ق م - ٣٧٠ ق م) : فيلسوف يوناني ، قال بأن العالم يتألف من ذات مختلفة شكلا وحجما ووزنا - (المترجم) .

جدول ٦ - ١. الجسيمات الموجودة في عالم الحياة اليومية حولنا ،

التي تتكون منها المادة والتي تعمل كوسيط لقوى الطبيعة .

الجسيم	كتلة السكون (مقاسة بوحدة الكتلة الذرية)	الشحنة الكهربائية	تعليق
المساعد	٣٢٧ ر تقريباً	$2/3 +$	تتكون العديد من الجسيمات الأخرى من الكواركات .
لهابط	٣٢٧ ر تقريباً	$1/3 -$	الفوتونات والنيوترونات علي سبيل المثال ، يتكون كل منها من ثلاثة كواركات . وتتماسك الكواركات مع بعضها البعض بواسطة قوة نووية قوية .
اللبتونات	٠.٠٠٠٥٤٥ ر	$1 -$	تتحد الإلكترونات مع البروتونات والنيوترونات المتكونة من كواركات ، لتصنع كل مادة مستقرة في الحياة اليومية . ويتوافر النيوتريـ نو بكثرة في الكون ، ولكن كتلته الضئيلة للغاية وخلوه من الشحنة يجعلان تفاعله مع المادة غاية في الضآلة .
الجرافيتون	صفر	صفر	مسئول عن قوة الجاذبية
الفوتون	صفر	صفر	مسئولة عن القوة النووية الكهرومغناطيسية
جسيمات	٥٠٠ لكل منها	$1 + = W +$ $1 - = W -$ $0 = Z^0$	مسئولة عن القوة النووية الضعيفة .
البوزونات (حاملات القوى)	Z^0, W^+, W^-	صفر	مسئولة عن القوة النووية القوية .
الجليونات	صفر	صفر	

الكم (الكوانتا)

QUANTA

عندما نلقى نظرة على العالم ونحاول فهم تأثيراته ، فمن الطبيعي ان نحاول تفسير كل شيء على أساس الأشياء البسيطة التي نعرفها ونستطيع ان نفهمها . فالأجزاء الواضحة في عالمنا هي الأرض والبحر ، ونجد على الأرض أجساما صلبة جامدة كالصخور والأحجار ، بينما نجد في البحر (وفي الأنهار والبحيرات أيضا) حركات أمواج المياه . فالأجزاء الجامدة من الأجسام الصلبة وحركة أمواج المياه ، يعتبران ظاهرتين جليتين في العالم الطبيعي . وفي محاولة العلماء الأولى لفهم العالم ، استخدموا هذه الظواهر كنماذج يعتمد عليها للأشياء الموجودة في عالم الأشياء الدقيقة micro-world . وقاموا بتطوير نظريات عن عالم من أشياء دقيقة ، متكون من « جسيمات » صلبة دقيقة من المادة التي تنتقل خلال بحر من « موجات » من طاقة اشعاعية مثل الضوء . وكانت هناك أسباب وجيهة لافتراض ان أكثر ما يعتبر عناصر أساسية للطبيعة ، اما أن يكون جسيمات أو أمواجاً ، لكنه كان افتراضاً مبسطاً بصورة مضللة مبنيا على الأمل والتوقع ، من أن عالم الكيانات الصغيرة جداً سيكون مشابها لعالمنا اليومي الكبير تماما . ومع ذلك ، فعالم الكيانات الصغيرة المكون من الجسيمات والضوء ، يختلف تماما عن عالمنا في عدة نواح محيرة . ويعرف فرع الفيزياء الذي يضم هذه الألغاز ، ويعطينا النظرة الأفضل عن حقيقة عالم الأشياء الدقيقة ، بميكانيكا الكم .

وتبدأ قصة ميكانيكا الكم بالضوء المفترض أن له طبيعة موجية ، ثم تبين بعد ذلك أن له طبيعة جسيمية أيضا ؛ ثم انتقلت الى ما كان يفترض أنه جسيمات صلبة ، ثم ظهر أنها تسلك سلوك الموجات في نواح مهمة ؛

وبعد ذلك تطورت القصة الى وجهة نظر موحدة عن كون لا يوجد به موجات ولا جسيمات ، لكنه يتأسس على ثنائية لجسيم موجي غامض في قلب كل شيء . وتعتبر نتائج تبني هذه النظرة الثنائية والموحدة عن الأشياء ، نتائج مروعة ومذهلة ومفيدة الى حد بعيد .

ودعنا نبدأ بالنظر الى الضوء والصور الأخرى من نوع الطاقة المعروفة بالأشعاع الكهرومغناطيسي . فطاقة الضوء التي تنبعث من الشمس ، أو من المصباح الكهربى فوق رؤوسنا ، ما هى الا مجرد الجزء المرئى من منظومة عريضة فيما يعرف بالأشعة الكهرومغناطيسية ، والتي تشمل أيضا أشعة جاما والأشعة السينية والأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء والموجات الميكروية (الميكروويف) وموجات الراديو . وتسمى هذه الموجات بالأشعة لأنها تشع للخارج من مصادرها وتسمى بالأشعة الكهرومغناطيسية ، لأنها تتكون من تموجات متحركة من مجال قوة كهرومغناطيسى . وعندما يصطدم الإشعاع الكهرومغناطيسى بشيء ما ، فانه ، بمعنى آخر ، يتعرض لقوى كهرومغناطيسية متذبذبة قادرة على دفع وجذب الأشياء التي تحس بالقوة الكهربائية فيه . والأشعاع الكهرومغناطيسى هو طاقة منطلقة بأقصى سرعة لا يتجاوزها أى شيء آخر ، ألا وهى سرعة الضوء .

والفرق بين الأشعة العديدة اللطيف الكهرومغناطيسى ، هو ببساطة مسألة تردد التموجات لمجالات القوة الكهرومغناطيسية المصاحبة لها . فأشعة جاما لها أعلى تموجات ترددية ، تتبعها الأشعة السينية فالأشعة فوق البنفسجية فأشعة الضوء المرئى فالأشعة تحت الحمراء فالموجات الميكروية وأخيرا موجات الراديو ذات التردد الأدنى .

وعندما ينتقل الشعاع الكهرومغناطيسى ، فانه يسلك سلوكاً مشابهاً جداً كما لو كان متكوناً من موجات ، تلك الحقيقة المعروفة من واقع تسميات مثل « الموجات الميكروية » و « موجات الراديو » . ويبدو أنها ذبذبة متحركة أو اهتزازة متحركة ، وهو فى الحقيقة ما تمثله أية موجة . وهى تظهر أيضاً الخاصية المميزة للموجات المعروفة بالـ « تداخل interference » : فعندما تتقابل موجتان ، فانهما يتدمجان ، أو يتضافان الى بعضهما البعض ، بحيث اذا تقابل قاعا موجتين ، فانهما يعطيان قاعاً أعمق ، واذا اتحدت قمعا موجتين ، فانهما يعطيان قمة أعلى ، أما اذا تقابلت القيعان بالقمم ، فان احدها تلغى الأخرى تماماً ؛ أما ما ينتج عن الاتحادات الأخرى فأنماط موجية أكثر تعقيدا . وقد أدى

هذا السلوك الى النظرية الموجية للضوء ، والتي ظلت دون شك فيها حتى السنوات الأولى من القرن العشرين .

وكان البرت آينشتين — مرة أخرى ! — هو الذى قام بالكثير من الاختبارات للنظرية الموجية للضوء ، وجاءت فى بحث نشره فى عام ١٩٠٥ ، وهى نفس السنة التى نشر فيها نظريته عن النسبية الخاصة . وفى محاولة لتفسير تجربة قام بها الفيزيائى ماكس بلانك (ذلك العالم المشهور بثابت عددى أساسى فى الطبيعة ، يعرف بـ « ثابت بلانك ») ، قال آينشتين ان الضوء والأشعة الكهرومغناطيسية الأخرى ، يجب ان يظهر فى صورة « كتل » متميزة ، أو حتى « جسيمات » تسمى فوتونات . وقد اقترح أن الضوء بأى طول موجى ، أى أية مسافة بين قمم موجاته المتحركة ، يجب أن يتكون من فوتونات ، والتي تحمل جميعها قدراً متساوياً ومحدداً من الطاقة . وفكرة أن الضوء متكون من دفع من كتل الطاقة الدقيقة المسماة بالفوتونات ، قد تمت البرهنة عليها بتجربة أخرى ، ولكن ماذا تعنى ؟ هل تعنى أن الضوء ليس شبيهها بالموجة ؟ لا ، فهى تعنى أن الضوء فى حقيقته ، ليس موجة خالصة ولا جسيماً خالصاً ، لكنه يتصرف بصورة تشتمل على عناصر من كلا هذين النوعين من السلوك . وقد عبر عنها آينشتين بالقول بأن فهما كاملاً لطبيعة الضوء سيشتمل على اندماج أوصاف الموجة والجسيم ، بدلا من التخلي عن أيهما . ويعتبر هذا الاندماج صعباً ، ان لم يكن مستحيلاً ، علينا تصوره ، حيث لا تسلك أى من الأشياء التى نعرفها فى عالمنا اليومى هذه الخاصية المزدوجة . وعلى الرغم من ذلك ، فقد كشف عدد كبير من التجارب عن أن الضوء ، يستطيع فى الحقيقة أن يسلك أحيانا شكل حركة موجية وأحيانا كدفع من جسيمات متميزة . فالضوء فى حقيقته له هذه الخاصية ، ومن سوء حظنا ، أن نجد صعوبة فى فهمه .

وعلى ذلك لا يتكون الضوء فى الحقيقة من موجات خالصة ، ولا من جسيمات متميزة ، بالمعنى الذى نستخدمه عادة فى هذه المصطلحات . فهو يتكون من شئ آخر ، من احدى الظواهر الفريدة التى ليس لها نظير مماثل فى عالم الحياة اليومية . واحدى طرق محاولة فهم فكرة ثنائية الموجة — الجسيم هذه بشكل أفضل ، هى اعتبار أن أى فوتون كمجموعة دقيقة من تذبذب متمركز فى المجال الكهرومغناطيسى ، ينتقل بطريقة متماسكة ، بحيث انه يسلك أحيانا سلوك جسيم متميز وأحيانا كالذبذبات (أى الموجات) . ووجهة النظر هذه تجعلنا نصف الفوتون على انه ، « حزمة موجية » ، برغم أن هذا لا يزال يعطى تمثيلاً بسيطاً لوضعه

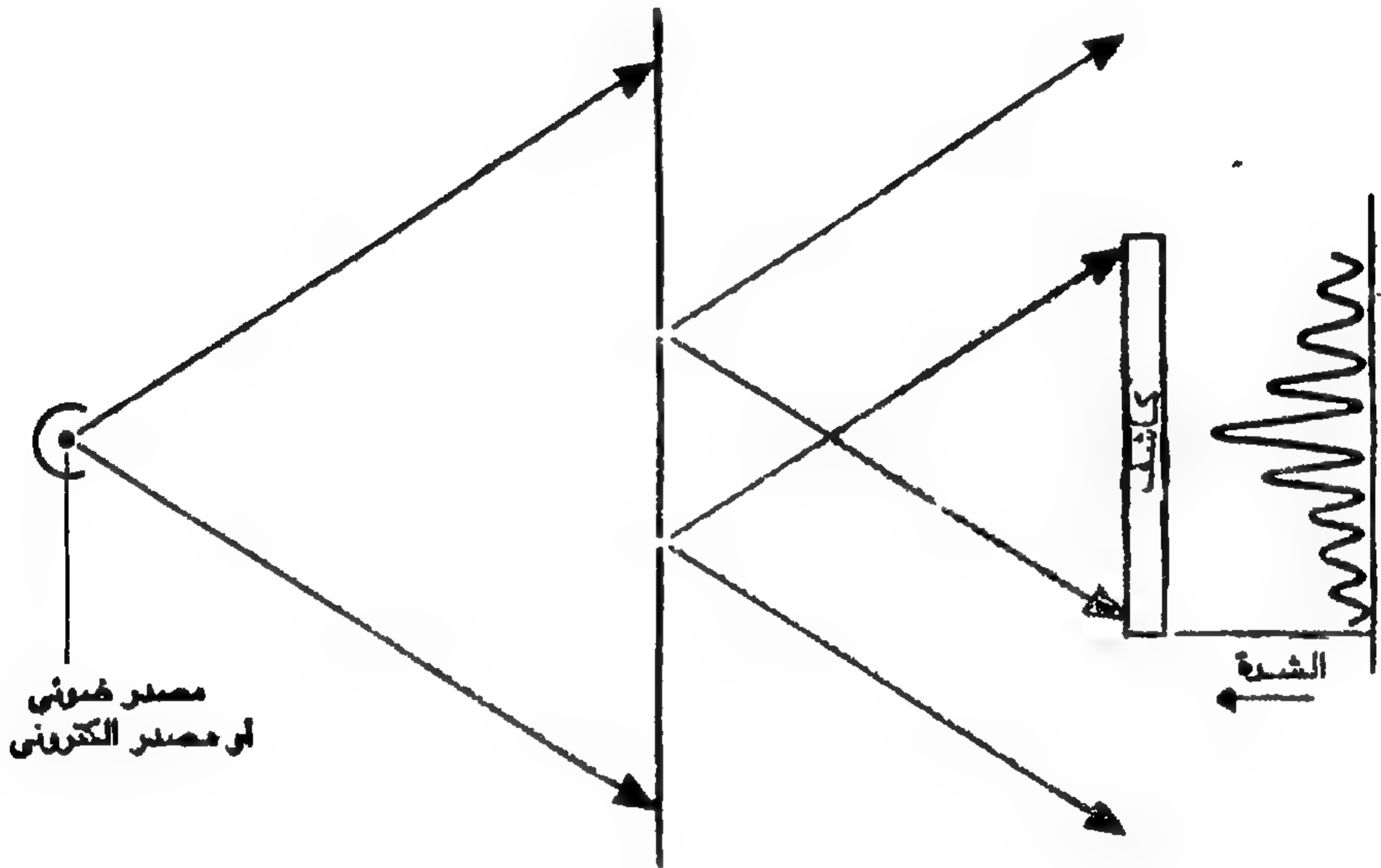
الحقيقى . لاحظ أنه يجعل من « المجال » الظاهرة الأكثر أساسية ، على اعتبار أن الجسيم ، أى الفوتون ، مفسراً على أنه اضطراب نشط ومتمركز فى المجال . وتلك هى الطريقة التى يفضلها معظم الفيزيائيون عندما يفكرون فى الجسيمات : على أنها اضطرابات متمركزة من مجالات أساسية .

وعندما احتار الفيزيائيون فى قدرة الضوء — الذى اعتبروه زمناً طويلاً مكوناً من موجات — على التصرف أحياناً كدفق من الجسيمات ، فإن خوفاً آخر تراءى لهم فى صورة معكوسة لتلك المفارقة . إذ لم يلبث أن اقترح فيزيائى فرنسى شاب يدعى لويس دى برو جلى Louis de Broglie. (وينطق «دى بروي» بتشديد الياء) ، فى أوائل العشرينات من القرن الحالى ، أن جسيمات مثل الالكترونات والبروتونات ، وهلم جرا ، قد تكون أيضاً جزءاً من لغز محير ، بامتلاكها خواص شبيهة بالموجة غير معروفة حتى الآن . واستطاع التوصل من خلال برهان رياضى بسيط الى « طول موجى » لجسيمات مثل الالكترونات ، ولكن ماذا كانت صلة العالم الحقيقى بالنجاح النظرى الذى توصل اليه فى بحثه ؟ لقد قدم دى برو جلى فكرته هذه كجزء من أطروحته لنيل درجة الدكتوراه ، ولكن عندما فكر أساتذته فى بحثه فى أواخر عام ١٩٢٤ ، لم يكونوا منفعلين به بدرجة كبيرة . غير أنه بحلول عام ١٩٢٧ ، تم تأكيد بحثه بالتجربة ، ومع حلول عام ١٩٢٩ ، حصل على جائزة نوبل عن هذا البحث . لذا فالصلة بين بحثه والعالم الحقيقى ، هى أن الالكترونات تستطيع فى الحقيقة أن تتصرف كموجات ، بطريقة تبدو مخادعة تماماً ، اذا ما داومنا على اعتبارها جسيمات صلبة دقيقة .

ويمكن ملاحظة الطبيعة الشبيهة بالموجة للالكترونات والجسيمات الأخرى عن طريق القيام بتجربة بسيطة جداً ، لا يستخدم فيها سوى مصدر ضوئى ومصدر الكترونات وحائل مزود بثقبين ، وأحد كواشف الضوء أو الالكترونات من الجانب الآخر من الحائل (انظر الشكل ٧ — ١) .

فإذا سطع الضوء على الحائل ، فإن كل ثقب دقيق فى الحائل ، يتصرف كما لو كان مصدراً جديداً من الضوء ، الذى تنبعث منه موجات الضوء ، كما هو موضح فى شكل ٧ — ١ . وتتداخل هاتان المجموعتان من الموجات مع بعضهما البعض بالطريقة التى شرحناها من قبل ، بحيث

أن شدة الضوء الواصل عند أجزاء مختلفة من الكاشف ، تعلو وتهبط في صورة « نمط تداخل interference pattern » (١). وكما سبق شرحه في تداخل الموجات ، تظهر أعلى شدة ضوء عندما تقاظر الموجتان بصورة كاملة ، وذلك في أماكن تقابل القمم مع القمم ، والقيعان مع القيعان (تداخل « تراكبي interference constructively »). كما تظهر مناطق تقابل القيعان بالقمم مظلمة ، إذ تلغى كل موجة تأثير زميلتها (تداخل « هدام interference destructively »). أما فيما بينهما من مناطق فتتدرج فيها شدة الضوء . ووجود مثل هذا النمط من التداخل ، هو دلالة حاسمة على الظاهرة الموجية .



(شكل ٧ - ١٠) يظهر كل من الفوتونات والالكترونات سلوكا موجيا .
والآن ، افترض أن مصدر الضوء قد استبدل بمصدر من الالكترونات .
فلو كانت الالكترونات جسيمات صلبة دقيقة حقيقية ، فسوف نتوقع من كل واحدة إما أن تخترق أحد الثقوب أو ترتد من الحائل . وبمضي الوقت ، يمكن انشاء نمط من « شدة وصول الالكترون » على الكاشف ، لكننا من غير شك لن نتوقع منه أن يشبه نمط تداخل . فكل الكترون يخترق ثقباً سيصل الى نقطة دقيقة على الحائل الثاني ، دون أن يتوقع من الالكترونات الأخرى أي تداخل معه في مساره ، (بخلاف التصادم الذي قد يغير من المسار) . غير أن الشيء المثير الذي يحدث ، هو وجود نمط تداخل بالفعل ! فالخطط الذي يرسم فيه عدد الالكترونات التي تصل الى كل نقطة على الكاشف على مدار فترة زمنية يطابق تماماً النمط التداخلي المميز لسلوك الموجات . وهو بالفعل نمط تداخلي ، لأن

الالكترونات تظهر نفس ثنائية الجسيم — الموجة المحيرة مثل الفوتونات . ومع ذلك فالشيء الأكثر ادهاشاً ، هو أن هذا النمط التداخلي ينشأ حتى عندما تنفصل الالكترونات من المصدر الواحدة قلو الأخرى — والتي إذا فكرت فيها لبرهة ، تعنى أن كل الكترون منفرد ، أو شيئاً ما يصاحب كل الكترون ، يجب أن ينفذ بطريقة ما خلال كلا الثقبين في نفس الوقت !

كيف يمكن تفسير هذه النتائج المحيرة ؟ انها تدلنا بغير شك على أن الالكترونات تسلك بشكل ما سلوك الموجات ، وبذلك تبطل الفكرة الساذجة التي تقول بأنه يمكن وصفها ببساطة على أنها جسيمات صلبة دقيقة . وفيما يتعلق بما يمثله بالضبط العنصر الموجي في طبيعة الالكترون ، فهو يعتبر بؤرة جدل لم تحسم بعد بشكل مرض . فالتفسير القياسي يمضى كهذا : أن ما يتحرك من مصدر الالكترون ومن الحائل ، ويمضى خلال كلا الثقبين في نفس الوقت لتوليد نمط تداخل يمكن اعتباره « موجة احتمالية » probability wave (٢) ، تنسب شدتها عند أية نقطة الى احتمال وجود الكترون في أى مكان وزمن معين . وتقتيد الالكترونات بطريقة ما بقانون هذه الموجة الاحتمالية ، وتظهر كجسيمات دقيقة عند نقاط عديدة على الكاشف بالأعداد المطلوبة لجعل نمط وصول الالكترون يبدو مشابها تماماً لنمط التداخل الذى ينتج عن وصول موجة معروفة . كيف تتحكم الموجة الاحتمالية في سلوك الالكترونات المنفردة بصورة دقيقة ، أو كيف « تنهار » الالكترونات المنفردة بعيداً عن نمط الموجة الاحتمالية ؟ ذلك يعتبر شيئاً غامضاً تماماً . ولا يعتبر هذا بأية حال تفسيراً مرضياً ، ولا تفسيراً مقبولاً بشكل كامل . وتظل مشكلة تفسير التجربة باقية ، ولكن مهما كانت هذه المشاكل ، لا يمكن الجدل حول حقائق التجربة . وفي الحقيقة ، تسلك الالكترونات وجميع الجسيمات الأخرى المفترضة ، المختبرة بطريقة كاملة وواقعية سلوك الموجات في بعض الأوجه المهمة . وهناك ثنائية موجة — جسيم حقيقية في قلب المادة ، تجعل المفاهيم المنفردة عن الموجات أو عن الجسيمات غير كافية لوصف الفوتونات والالكترونات والمستوطنين الآخرين في العالم دون الذرى الغريب .

ويعتبر الشيء الذى قدمته هنا موجزاً وصفيّاً نوعياً وتفسيراً عاماً جداً لثنائية الجسيم — الموجة الموجودة في قلب كل شيء . أما عن التفسير الكمى بصورة دقيقة ومفصلة ، فيحتاج أن يكتب بشكل موسع بلغة الرياضيات . وهذا ليس بالمجال للكشف عن التفاصيل الرياضية

ليكانيك الكم ، ولكن يكفى القول بأن الأفكار والظواهر العامة التى شرحناها سابقا ، يمكن وصفها بطريقة الكم بصورة دقيقة وجيدة ، باستخدام لغة الرياضيات المحكمة . وعندما نقوم بذلك ، تبرز لنا سمة جديدة واضحة عن الكون . ولكن يبدو انه من المستحيل الحصول على معلومات دقيقة عن الأحداث الموجودة فى العالم دون الذرى بصورة كاملة . أو من المستحيل ، بمعنى آخر ، أن نصف مكان كل شيء وما يفعله ؛ ويعتبر هذا مستحيلا ، ليس بسبب عدم كفاية التجارب من جانبنا ، ولكن لأن هذه الدقة المحددة ، لا تعتبر جزءاً حقيقياً من طبيعة الأشياء . فنحن نجد فى قلب العالم دون الذرى عدم يقين عميق لا يمكنه أن يحوى أبداً .

وعدم اليقين هذا يطلق عليه بـ « مبدأ عدم اليقين uncertainty principle » وينسب الى فرنر هيزنبرج Werner Heisenberg الفيزيائى الألمانى ، الذى اكتشف هذا المبدأ من خلال المعادلات الرياضية لميكانيكا الكم فى عام ١٩٢٦ . ويمكن توضيح مبدأ عدم اليقين لهيزنبرج بأكثر من طريقة . ويمكن أن يوضح بالقول بأن موقع وكمية تحرك أى شيء (سواء أكان الكترون أو بروتون ، أو فوتون ، الخ . . .) لا يمكن أن يتحددا بدقة فى نفس الوقت ؛ أو بالقول بأن طاقة أية ظاهرة وزمنها المستمر يكونان دائماً مصاحبين بدرجة معينة من عدم اليقين . وبغض النظر عن كيفية ذكر مبدأ عدم اليقين ، فمن المهم التأكيد على أنه لا يصف ببساطة بعض القصور فى قدرتنا على قياس ما يحدث فى العالم دون الذرى ، بل انه يؤكد على اضعاف صفة عدم يقين حقيقى أو « غموض » العالم دون الذرى ذاته . فلا نستطيع أن نعرف الوضع وكمية التحرك الصحبة لأى الكترون ، على سبيل المثال ، لأن الالكترتون لن يكون له بالفعل وضع أو كمية تحرك دقيقة .

ويجب أن ننبد فكرة أن العالم دون الذرى مكون من جسيمات أو موجات دقيقة ، تتحرك فى كل مكان بسرعة محددة بطاقات محددة وتتفاعل مع بعضها البعض بطريقة محددة ومصيرها محدد فى النهاية . وبدلاً من ذلك ، يجب أن نقبل بوجود أحداث سائدة ومتأصلة بشكل غير يقينى فى العالم دون الذرى جداً ، ويجب أن تكون الأوصاف الوحيدة التى نتبعها دائماً ، للوصول الى هذه الأحداث أوصافاً احتمالية . ويمكننا أن نقول ، بمعنى آخر ، أن احتمال أن يؤدى جسيم أى شيء معين هو كذا أو كذا ، لكننا لا يمكن التكهن بسلوكه بنسبة يقين مائة بالمائة ،

لأن الجسيم نفسه لا يعرف بالتفصيل وبصورة محددة ما يفعله في وقت معين وفي مكان معين .

ويبدو أن كل هذا مثير للحيرة الى حد ما ، وهو كذلك في حقيقة الأمر . فعندما تبدأ ميكانيكا الكم في ارباكك ، أعرف حينئذ انك بدأت تفهمها ! فقد أربكت حتى أفضل الفيزيائيين الذين يعملون في أقصى ما انتهى اليه العلم في هذا المجال ، فهم لا يعرفون على وجه الدقة ماذا تعنى : فوجود عدم اليقين المتأصل ، الذي كشفت عنه ميكانيكا الكم ، يجب أن يقبل ، وذلك لأن تأثيراته جميعها تحيط بنا .

ومن بين تأثيراته الأكثر انتشارا ، تلك القوى الأساسية نفسها ، لأنه بدون مبدأ عدم اليقين ، لن توجد هذه الجسيمات التي يعتقد انها مسئولة عن هذه القوى . فاذا عدنا الى موضوع الجسيمات بالفصل السادس ، فسنرى أن الفيزياء الحديثة تعتبر أن كل القوى تحدث نتيجة تبادل الجسيمات الحاملة للقوة بين الأشياء التي تشعر بالقوى . لذا ، فاذا اعتبرنا الكترونين بالقرب من بعضهما البعض ، على سبيل المثال ، فسوف ينفر أحدهما من الآخر ، بواسطة تبادل فوتونات الطاقة الكهرومغناطيسية ، التي تعمل كجسيمات رسل للقوة الكهرومغناطيسية . الا أنه يوجد شيء خاص نوعا ما عن هذه الفوتونات الحاملة للقوة ، بالمقارنة بفوتونات الضوء التي تسمح لك بقراءة هذه الصفحة . وتعرف الفوتونات الحاملة بالفوتونات « التقديرية virtual » ، لأنها لا يمكن أن توجد الا لفترة محددة ، ويحددها بشكل صارم مبدأ عدم اليقين .

ولكى نعرف شيئا عن هذا ، يجب أن نركز على واحد من أحد الكترونات المتفاعلة ، والأخذ في الاعتبار طاقته . وقد تميل الى القول بأن الالكترون يجب أن يمتلك قدراً معيناً من الطاقة ، يعتمد على مدى السرعة الذي يتحرك بها وعلى الأشياء المحيطة به ، ولكن نتذكر حينئذ أن مبدأ عدم اليقين يخبرنا أن طاقة الالكترون غير يقينية بدرجة محددة بالضبط . ويمكن أن تفقد الالكترونات الطاقة بقذف الفوتونات ، أو يمكن أن تكتسب الطاقة بامتصاص الفوتونات ، وهي في مطلق الحرية لأن تفعل ذلك بطريقة عشوائية ، على شرط أن تكون التفسيرات في الطاقة ليست أكبر من عدم اليقين الملازم لطاقة الالكترون عموماً . لذا فطوال الوقت تقذف الالكترونات بالفوتونات ، وتعيد امتصاصها بسبب الحرية التي يسمح بها مبدأ عدم اليقين . ويشار الى هذه الفوتونات « بالفوتونات التقديرية » ، للتمييز بينها وبين الفوتونات الحرة ، التي

فراها في صورة ضوء ، على سبيل المثال ، والتي تنطلق عندما يعترى بغض الجسيمات مثل الالكترونات الموجودة داخل ذرة فقد مستمر بصورة فعلية لطاقته ، والفوتونات التقديرية التي سمح لها بالانطلاق وبغض ذلك الامتصاص ثائية بسبب مبدأ عدم اليقين ، هي الفوتونات ذاتها المسئولة عن القوة الكهرومغناطيسية . وبدون مبدأ عدم اليقين ، ستكون طاقة أي الكترون ثابتة بصورة مطلقة في أي وقت ، وعلى ذلك فلن يكون الالكترون قادرا على اطلاق الفوتونات المطلوبة لحمل القوة الكهرومغناطيسية .

وما يصدق على حاملات القوة الكهرومغناطيسية ، يصدق أيضا على الجليونات والجرافينونات وجسيمات W و Z التي تحمل القوى الأساسية الأخرى . وتنشأ هذه الجسيمات وتدمر بفضل مبدأ عدم اليقين وفي نطاقه . فلو كان العالم الدقيق محتوما بشكل كامل وغير مصحوب بعدم يقين ، لما أمكن للجسيمات الحاملة للقوة ان تنشأ ، وعلى ذلك ، فبدون وجود مبدأ عدم اليقين في قلب العالم الدقيق ، فلن تكون هناك قوى أساسية . لا تدع أي أحد يقول لك ، كما يحاول البعض أن يقول ، أن ميكانيكا الكم ليست بذات صلة بعالمنا اليومي . فبدون تأثيرات ميكانيكا الكم لن تكون هناك جاذبية ولا كهرومغناطيسية ، ولن توجد قوى نووية ضعيفة وقوية ، ولا كيمياء ولا بيولوجيا ، ولا حتى أنت ،

هل مات مذهب الحتمية ؟

ان حياتنا تبدو وكأنها وسط خضم من أحداث تتقاذفها ، أفعال الآخرين ، وحالتنا الصحية ، والطقس ، الى غير ذلك من أمور يبدو أنه من رابع المستحيلات التحكم فيها أو التكهّن بها بصورة مطلقة . وبرغم ذلك نشعر بشكل بديهي ببعض القدرة للسيطرة على هذه الأحداث ولأخذ قرارات ربما تغير بعض الأوجه الصغيرة من هذه الدوامة ، لاجبارها نحو مسارات اقرب لميولنا .

ان فهمنا الظاهري لهذه الحالة التي تبدو طبيعية قد تلقت ضربة شديدة عندما بدأ علم الفيزياء يزدهر بحق خلال القرون القليلة الماضية . فقد بدا الكون في ذلك الحين أنه مكون من جسيمات صلبة دقيقة وموجات من الطاقة المشعة ، التي تنتقل وتتفاعل وفقا لقوانين محددة بدقة .

فكل التغير الذي يحدث حولنا وداخلنا ، بدءا من مدار الكواكب وانتهاء بدوران الإلكترونات داخل الذرات ، كان يعتقد بأنه يسير وفقا لطريقة جبرية تماما . ونشأت فكرة أنه لو استطاع أحد أن يعرف وضع وحالة حركة كل جسيم في الكون ، يمكنه حينئذ التنبؤ بكل الأحداث المستقبلية بدقة لا تخطيء . ونشأت الحتمية العلمية ملتزمة من مستنقع البديهية الهدائية ، واقترحت أنه لا يوجد شيء يمثل الصدفة ، ومن المحتمل ألا يوجد شيء يمثل الإرادة الحرة — لا شيء سوى كون يسير بنظام رتيب كالساعة ، ينتشر حثيثا في اتجاه مساره المحتوم .

وبطبيعة الحال ، لم يكن هناك شيء بهذه البساطة . فبالعديد ، بل حتى معظم الظواهر المحيطة بنا ، تظهر بصورة معقدة جدا ، حتى يبدو من الصعب أن يكون تطورها محتويا بشكل كامل بواسطة ظروف مسبقة ، ومن الأسهل اعتبارها « عشوائية random » أو « هيولية chaos » (٣) نوعا ما . غير أن أحد دروس العلم المتعلق بالهيولية وهو ما نسميه بالسلوك الهولي chaotic يمتلك بحق حتمية متضمنة (لكن على صورة الحتمية التي سيرد شرحها في الفقرات التالية ، لا الفقرات السابقة) ، لكننا نجد من المستحيل التنبؤ بما سوف تتبعه المسارات المحتومة المسماة بالنظم الهيولية . ويعتبر علم التعقد والهيولية خارج نطاق هذا الكتاب . فالرسالة الأساسية لنظرية الهيولية ، هي أنه ما يبدو من تصرفات عشوائية وسلوك هولي داخل ما يبدو أنه نظم معقدة ، قد يكون في الحقيقة محكوما بعمليات حتمية بسيطة جدا ، لكنها بالغة الحساسية للتغيرات الطفيفة في الحالات الأولية . فلم يكن علم الهيولية هو ما أدى إلى السقوط المفاجيء للحتمية ؛ بل أن مدلوله الصحيح يمكن أن يستخدم في تقوية الاعتقاد بالحتمية المتضمنة حتى في الأحداث بالغة التعقد . أما التهديد الحق للحتمية فقد كان من ناحية ميكانيكا الكم .

فالحتمية المستاثرة ، سواء أكان يمكن توقعها أم لم يمكن ، كان لها عهد طيب ، لكن ميكانيكا الكم استطاعت أن تهزمها في عقر دارها ، وتتركنا حيارى في البحث عما يجب أن يحل محلها . وبطبيعة الحال ، فقد حدث السقوط المفاجيء للحتمية بسبب هذا عدم اليقين . وتبخرنا العقيدة الأساسية لميكانيكا الكم هذه ، بأن وضع وحركة جسيمات المادة غير محددين تحديدا صارما . فهي تقول لنا بأنه يوجد عدم يقين أصيل وكامن بالنسبة لسلوك بعض الأشياء ، تلك التي يجب أن تترك دائما بعض الشك بالنسبة لسلوكيات أحداثها المستقبلية . غير أن ميكانيكا

الكم لم تهدم الحتمية تماماً ، حيث انها تحتفظ بحالة جديدة بالاحترام في صورة جديدة في « الحتمية الاحتمالية **probabilistic determination** » .
يعنى انه ، بالرغم من أن المسار الدقيق للأحداث المستقبلية قد لا يمكن تحديده بدقة ، فإن احتمالية حدوث نتائج معينة تتبع مواقف معينة ، يتحدد بصورة دقيقة جداً .

افترض أننا اهتمنا بسلوك أحد الإلكترونات ، على سبيل المثال . فسوف نخبرنا الحتمية الكلاسيكية بأنه اذا تومرت معلومات كافية عن حالة حركته وبيئته ، فسوف نستطيع القول بيقين مطلق ، أن الإلكترون سيفعل هذا الشيء ، بدلا من ذاك الشيء . وتبطل ميكانيكا الكم هذا اليقين ، لكنها تستبدله بيقين كامل من احتمالية أن يقوم الإلكترون بهذا أو ذاك . وقد تعلمنا ، على سبيل المثال ، أن نسبة احتمال أن يقوم الإلكترون بهذا الفعل هي ٧٠٪ ، ونسبة احتمال أن يقوم بالشيء الآخر ، هي ٣٠٪ . وسوف لا يفيدنا هذا كثيراً في توقع سلوك أحد الإلكترونات بمفردها ، أو حتى عدد قليل من الإلكترونات ؛ ولكن اذا افترضنا وجود عدد كبير جداً من الإلكترونات المتشابهة ، بلايين الإلكترونات ، على سبيل المثال ، يمكننا أن نتوقع بدقة كبيرة أن ٧٠٪ منها سوف تقوم في النهاية بهذا العمل ، في حين أن الـ ٣٠٪ الباقية سوف تقوم بعمل الشيء الآخر بشكل مطيع .

وعلى ذلك ، فهل ماتت الحتمية ، أم ماذا ؟ فإذا كان التفسير المفضل لميكانيكا الكم صحيحا ، فإن الحتمية حينئذ تكون قد ماتت بالفعل . بالمفهوم الشامل القوى ، الذي كانت تستخدم به في يوم من الأيام . سلوك الجسيمات الفردى ليس ثابتا بشكل دقيق ، وكذلك ، لا يمكن تحديد مصيرها بدقة مقدما . غير أن مبدأ الحتمية مازال نابضا بالحياة ، في صورة حتمية عملية فعالة أو يومية في أنحاء العالم الكبير نسبيا الذي نسكنه . ويرجع السبب في بقاء الحتمية بهذه الصورة المتغيرة أساسا الى أن معظم الأحداث التي ندركها حولنا ، هي نتيجة لتأثيرات عدد هائل من الجسيمات المتشابهة يجرى عرضها في مواقف متشابهة . ومن الوجهة العملية ، على سبيل المثال ، فلتنا متأكدين بشكل مطلق أننا لو فتحنا قارورة محتوية على غاز موجود تحت ضغط عال ، فإن الغاز سيهرب من القارورة وينتشر في البيئة المحيطة ، وذلك لوجود احتمالية كبيرة في أن حركة جسيمات الغاز سوف تجعلها تنتشر بدلا من بقائها في مواضعها . وتوجد من حيث المبدأ أكثر من طريقة أخرى لحدوث الانتشار ، بدلا من أن يبقى الغاز على حالته ، لذا فالانتشار

هو ما نتوقع أن يحدث لا محالة ، وعلى ذلك ، يعتبر سلوك الغاز ، من الوجهة العملية ، سلوكاً حتمياً ، لكنه من الخطأ تماماً أن يقال أن الحتمية المطلقة تطبق نتيجة لذلك على النظام ، فهناك احتمالية غاية في الضآلة ، ولكنها مؤكدة الوجود ، في أن حركة جسيمات الغاز قد تتصرف بصورة غريبة ، كأن تتركز في بعض الأماكن الدقيقة الأعلى ضغطاً . وأنه من الصواب القول بأن احتمالية هذه الأمور هي من الصفر ، لدرجة تسمح لنا أن نستمر في ملء وفتح الأوعية سنوياً بعد سنوات ، دون أن نتوقع حدوثها ، اللهم إلا كحالات متفرقة على مدى بلايين السنين .

إن سلوك الغازات والسوائل والأجسام الصلبة حولك ، وتقدم الكيمياء بداخلك ، يظهر حتى بكل دقة ، لأن كل شيء تلاحظه تقريباً ، كتأثير غردى ، هو في الحقيقة نتيجة تراكمية لعدد كبير من التفاعلات على مستوى الجسيم . وعلى ذلك فقد ماتت الحتمية المتوجة القديمة ، بينما لا تزال الحتمية الفعالة في عالم الحياة اليومية باقية .

ربط الأجزاء بالكل

هناك لغز واحد رئيسي تركه ميكانيكا الكم ، وهو اللغز الذي لم أشر إليه بعد ، ومع ذلك يجب أن نعطي عن الأقل فكرة موجزة عنه . فهو يشكل تحدياً أساسياً لنظرتنا التقليدية عن الكون ، وخصوصاً لما لنا لمحاولة تفهم الأشياء من خلال اختزالها إلى أجزائها الدقيقة . فهو يقترح اتصالاً ضمناً بين أجزاء الكون عبر مسافات شاسعة من الزمكان ، وهو ما لم يستطع أحد أن يفسره حتى اليوم .

ولكى نلمس وجود اللغز ، فلنأخذ في الاعتبار اثنين من فوتونات الضوء منبعثين في آن واحد من اتجاهين متقابلين من بعض المصادر المعروفة . وسرعان ما تصبح الفوتونات المتدعمة بسرعة الضوء متباعدة عن بعضها البعض بشكل مذهل ، وتبعا لنظرة تقليدية عن الأمور ، يصبحان غير متصلين تماماً . غير أن المعالجة الرياضية لميكانيكا الكم تقول أنهما يظلان مرتبطتين بطريقة ما ، بطريقة مخيرة تماماً ، بمقتضاها فإن نتيجة قياس على أحد الفوتونات ، يمكن أن يؤثر لحظياً في نتيجة قياس على الفوتون الآخر . والنقطة الحاسمة هي أن النتيجة الموجودة لأحد الفوتونات ، تحدد في الحال النتيجة التي يجب أن توجد في الفوتون الآخر ، لأن نتائج القياسات على كل من الفوتونين مترابطة بصورة رياضية دقيقة . وقد تم تأكيد هذا التأثير المثير للارتباك

بالتجربة (٤) ، ولم يوجد أحد يعرف على وجه اليقين ، كيف يفسر أو يشرح هذا الحدث . ويذهب هذا الرأي الى انه حتى نسمح للفوتونين بأن ينتقلا الى موضعين متقابلين من المجرة ، فسوف يظلان مرتبطتين بطريقة حميمة ، بحيث انه ما يحدث لأحدهما ، يحدد في الحال حالة الفوتون الآخر . ويعتبر الوصف الكامل لهذا التأثير والتجارب التي توضحه صعبة الفهم ، ولا يمكن الخوض فيها هنا ، غير أن رسالته المهمة ، يمكن نقلها وفهمها بسهولة : تكشف ميكانيكا الكم عن روابط ملغزة بين أجزاء تبدو متميزة ظاهريا في الكون ، وهو ما يجب أن يجعلنا حذرين من عادة تحليل الأشياء والأحداث عن طريق أجزاءها الدقيقة ، بينما نفقد غالبا فكرة الكل المتكامل والاكثر تعقدا .

ومن المناسب أن نختم هذا الفصل بتحذير قوى ، وهو أن المعنى الحقيقي لنتائج ميكانيكا الكم يعتبر موضوع جدل كبير . لقد فكرت هذا بالفعل ، لكنه يستحق التأكيد عليه ، يجادل العديد من الفيزيائيين في التفسير التقليدي لميكانيكا الكم التي شرحناها في هذا الفصل . ويعتقد البعض أن نظريتنا عن ميكانيكا الكم لم تكتمل تماما ، وعندما يحدث ذلك ، فسوف تنتهي العديد من التناقضات والأشياء المربكة للنسك ، خصوصا تلك الأفكار المتعلقة بازديادية الجسيم — الموجة ، وهو المعنى الحقيقي لسمات الأشياء الشبيهة بالموجة ، التي اعتدنا أن نعتبرها كجسيمات ، وعلى الأقل بعض السمات الاحتمالية للنظرية كما تفسر في الوقت الحاضر . ولم يكن العديد من الفيزيائيين الذين ابتكروا للمرة الأولى نظرية ميكانيكا الكم راضين عن تفسير النظرية ، التي أصبحت في النهاية من النظريات السائدة . وقاوم ألبرت آينشتاين ، الفيزيائي العظيم في عصرنا ، وربما في أي عصر أخرى ، التفسير اللايقيني والاحتمالي لنظرية الكم حتى أواخر أيام حياته . وقد أعلن مرارا عباراته الشهيرة : « ان الله لا يلعب بالنرد » . وسوف يشير العديد من الفيزيائيين المحدثين (الأقل منه منزلة ؟) الى دفع من النتائج التي يمكن أن تستخدم لمناقضة هذه الحجة ، ولكن الى أن يستقر الجدل في المجتمع الفيزيائي على قبول كل شيء ، فمن الحكمة الأخذ بشك آينشتاين . ولما كان الجدل لم يستقر بعد ، فقد فكرت فقط بعض النتائج الأكثر ارباكا عن ميكانيكا الكم ، دون الدخول في مناقشات مطولة ، فيما يمكن أن تعنيه في الحقيقة . وتعتبر ميكانيكا الكم من نظريات الفيزياء الناجحة بشكل مذهل ، ولا يوجد شك حولها . فهي تسمح بالتنبؤ بنشاط الكون وتفسيره بصورة أفضل من الصورة التي كان يفسر بها من قبل ؛ بينما لا يزال التفسير القياسي لما تعنيه بالنسبة للكون أمرا غامضا ، وقد تظل النظرية نفسها غير كاملة من بعض الأوجه المهمة .

الخلق

CREATION

خلق كل انسان من اتحاد حيوان منوى ذكرى ببويضة أنثوية ، ثم تطور جنينا داخل الرحم، ثم ولد ثم كبر وعاش فترة من العمر، بعد ذلك تبدأ صحته في التدهور تدريجيا ، الى ان يحين اجله المكتوب . فنحن كبشر لنا بداية ، وفترة وجود وجيزة فوق الأرض وبعدها النهاية ؛ ونجد كافة الكائنات الأخرى من حولنا لها بداية وفترة وجود ثم نهاية محتومة . فمن الطبيعي اذن ان نفكر في بداية كل شيء ، وفي نهاية كل شيء ، فنطرح أسئلة تتعلق بأصل ومصير الكون كله . ماذا يقول العلم عن هذه الأسئلة ، أكبر الأسئلة جميعا ؟

ان الفائدة العظيمة من اتباع الأسلوب العلمى كوسيلة لاستقصاء الأسباب ، هو انه يسمح لنا بتوقع مجرى الأحداث التى نشاهدها بدقة كبيرة ، والتى قد لا نستطيع ان نجريها بصورة مباشرة . وبطبيعة الحال ، يتضمن ذلك عادة توقع سير الأحداث التى ستقع فى المستقبل، حيث أن الأحداث المستقبلية هى الأحداث التى نرغب فى التأثير عليها أو استغلالها . غير أنه من الممكن أيضا أن نتفحص عالم الوقت الحاضر ، لنستقرئ منه الماضى ، فنستكشف ما كانت عليه أحوال الأشياء .

وعندما نرصد النجوم والمجرات التى تحيط بنا ، يتكشف لنا أحد الحقائق الرئيسية ؛ انها تتباعد عن بعضها البعض بسرعة كبيرة جدا . والنتيجة الواضحة التى نكتشفها من استقراء أحداث الزمن الماضى ، هى أن النجوم والمجرات لا بد أنها كانت مقاربة بقدر كبير ، وسوف

نجد تقريبا بصورة اكبر كلها واصلنا استقراء الماضي السحيق . ونذكر بالمنطق المجرد أن استمرارنا في الاستقراء ، سيقودنا في النهاية الى زمن كانت فيه مادة الكون جميعها متركزة في حجم واحد صغير جدا في زمن ومكان واحد . هذا الزمن والمكان هو اللحظة التي اسميت « الانفجار العظيم Big Bang » . والنتيجة المحتومة التي يمكن أن نستشفها من التمدد الحالي للكون ، هي أن الكون كان في زمن ما في حالة كثيفة تفوق التصور ، انفجر بعدها للخارج ليصنع الكون الشاسع الذي نراه الآن . وبطبيعة الحال ، لما كان لا يوجد شاهد على الانفجار العظيم فسوف يظل هذا الحدث مجرد وصف نظري للأيام الاولى لكوننا . غير أن نظرية الانفجار العظيم تعتبر الى حد بعيد التفسير المقبول لكيفية بدء وتطور الكون ، على الرغم من وجود جدل وتخمين شديدين بخصوص العمليات الدقيقة التي حدثت عندما بدأ الكون يتطور منذ بداياته الاولى . وفي الواقع، توجد عدة نظريات منافسة لنظرية الانفجار العظيم ، ويعارض البعض منها استخدام مصطلح الانفجار العظيم بكل ما في الكلمة من معنى ، في حين يصف الجميع الكون بأنه قد نشأ من حالة بدائية دقيقة وكثيفة بشكل يفوق التصور ، الى الكون المتمدد الضخم الشاسع الذي نعيش فيه الآن .

وكان تمدد الكون أيضا ايزانا ببداية جنوحه نحو البرودة ، بدءا من دوامة في حالة لا تتصور من السخونة ، ونشاط غالية في العنف للجسيمات دون الذرية ، الى ذرات ثم الى نجوم وكواكب زماننا ومكاننا . وقد نشأت الذرات الأبسط نوعا ما ، كالهيدروجين والهيليوم بعد الانفجار العظيم ، وقبل تكون أية نجوم أخرى . ونشأت بعد ذلك ذرات أخرى عن طريق اندماج الذرات الأبسط في قلب النجوم الشديدة السخونة (ولكن لا تقارن بالسخونة التي عليها الكون بعد الانفجار العظيم مباشرة) ، أو عن طريق الاندماجات التي حدثت أثناء الموت الانفجاري لبعض النجوم ، مثل انفجار المستعر الأعظم ، أو السوبرنوفا Super Nova . ويشمل تاريخ كوننا وفقا للفيزياء الحديثة على نظرية الانفجار العظيم ، مرحلة البرودة الكونية ، فاندماج بعض أجزاء الغاز البدائي في صورة نجوم وكواكبها الدائرة في أفلاكها ، وبعد ذلك التمدد المستمر للكون ، في الوقت الذي تحترق وتموت فيه بعض النجوم ، وتظهر بالوجود نجوم جديدة .

ويعرف بعض الناس الانفجار العظيم بأنه لحظة الخلق ، تلك اللحظة التي جاءت فيها كل المادة والطاقة والزمكان للكون الحالي الى الوجود . ويعتبر البعض الآخر أن الانفجار العظيم مجرد إحدى نهيات عملية متكررة من التمدد والانكماش التي يمر بها الكون للأبد ، دون أن تكون له بداية أو نهاية . وتؤكد وجهة النظر الثانية على أن الكون الحالي

سيستمر في التمدد لفترة من الزمن (تلك الفترة التي قد تصل لبلايين السنين إلى أن يؤدي الشد الجذبي المتبادل بين كل أجزاء المادة الموجودة بالكون إلى ببطء التمدد ثم توقفه ، ثم تنعكس الكرة . وحينئذ سوف يندفع كل شيء نحو الداخل بسرعة تعاجلية ، إلى أن يحدث بعد عدة بلايين أخرى من السنين « الانسحاق العظيم Big Crunch » عندما تنضغط كل المادة والطاقة والزمكان مع بعضها البعض للحظة يبدأ بعدها انفجار عظيم آخر ، ينفجر نحو الخارج مرة أخرى ، ليصنع جيلا جديداً من النجوم والكواكب ، والمؤلفين والكتاب والقراء ، وعلماء كونييات يتأملون في الطبيعة . وهناك تماثل طريف بين الانفجار والانسحاق والانفجار والانسحاق . . . ذلك السيناريو ، يجعل الأمر يستهويني من غير شك ؛ غير أن هذه المسائل سوف تقررهما الأرقام ، وليس الافتتان الجمالي . ولا يعرف الفيزيائيون حتى الآن ما إذا كان الكون به ما يكفي من المادة ، التي تجعله ينهار على نفسه في صورة انسحاق عظيم ، أو ما إذا كان سيستمر في التمدد للأبد . وعلى ذلك ، فالمصير النهائي للكون غير مؤكد ، وعلينا أن ننتظر اجابة أكثر تحديدا ، أو ربما مجرد أن ننتظر ونرى ما يحدث .

فإذا كان سيناريو انفجار وانسحاق الكون صحيحا ، حينئذ سيكون من غير المعقول التفكير في مسألة أصل الكون ، حيث قد لا يكون له بداية أبدا ، فقد تكون تلك هي حالته التي كان عليها دائما . غير أن الفيزيائيين يهتمون بمعرفة بداية كل شيء ، حيث تقدم لهم الاختبار النهائي لنظرياتهم . ويعتبر « علم خلق الكون » ، من العلوم المثيرة الزائخة بالنماذج العديدة مختلفة التفاصيل ، المتوفرة من أجل وصف كيف بدأ خلق كل شيء ، إذا ما كانت له حقا بداية . والأمر أبعد من أن يكون قد حسم ، إلا أن واحدة من أهم النتائج الأولية المذهلة لهذا العمل ، تستحق الأخذ بعين الاعتبار : فقد جعل نفاذ بصيرة ميكانيكا الكم أنه من الجدير بالاحترام التحدث عن الجدوى الفيزيائية ، لكون ينشأ بصورة عفوية ، لا تحركه سوى الظواهر التي ندرك كنهها تماما . .

يمكن السر في مبدأ عدم اليقين لميكانيكا الكم . وينص هذا المبدأ في إحدى صوره ، على أن أي شيء على الإطلاق يمكن أن يحدث ، أي شيء أيا كان يمكن أن يخلق ، على شرط أن تكون طاقته المضروبة في الزمن الذي يعيشه أقل من كمية دقيقة جدا تعرف بـ « ثابت بلانك » . تلك العلاقة التي تسمح بظهور الجسيمات الافتراضية ، التي ناقشناها في الفصل السابع ، وتجعلها تنشئ وتنقل القوى الأساسية .

ومن الواضح أن الكون الآن قد دام لفترة زمنية كبيرة جداً ، ويظهر أنه يحتوى على كمية ضخمة من الطاقة ، إلا أن هناك مفاجأة تنتظرنا ، إذا فكرنا فى هذه الطاقة بطريقة ثاقبة . فقد بدا فى النهاية أن بعض الطاقة ، تلك الطاقة المخترنة داخل كتلة المادة بصفة عامة ، يجب أن تخصص لها قيمة موجبة عندما تعالج بصورة رياضية ؛ فى حين يجب أن تخصص قيمة سالبة للطاقة الجذبية المصاحبة لوضع النجوم والمجرات فى الفضاء . وهناك توقع قوى فى أن كلا نوعى الطاقة موجودان بكميات متساوية ، ومن ثم ستبطل أحدهما الأخرى بشكل علم ! لماذا كان تصور ذلك عصياً عليك فتصور كرة مطاطية مطت فى بعض المواضع وضغطت فى مواضع أخرى ، فقد تصبح الكرة ممثلة بالأنماط المتغيرة من المط والانضغاط ، ومع ذلك فعندما يتقابل اثنان من هذه المناطق ، فسان الانضغاط يمكن أن يبطل المط ، فلا يترك مطاً ولا انضغاطاً على الأجمال .

وعلى ذلك ، افترض أن طاقة الكون عبارة عن شيء من هذا القبيل ، ذى كميات متساوية من الطاقة الموجبة والطاقة السالبة ، تلغى بعضها البعض ، لينتج كون ذو طاقة تساوى «صفر» على الأجمال . ووفقاً لمبدأ عدم اليقين ، يمكن أن تظهر ظاهرة الطاقة الصفرية الإجمالية بشكل تلقائى ، وتدوم لمدة كما تشاء ، حيث أن حاصل ضرب صفر الطاقة ، فى أية مدة من الزمن لا يمكن أن يزيد عن قيمة ثابت بلانك ، مهما كان مقدار صفر هذه القيمة .

ويبدو بالفعل أن صور الجسيمات والطاقة الأخرى تأتى وتذهب وفقاً لما يمليه عليها مبدأ عدم اليقين . وتعرف هذه الأحداث بـ « التقلبات الكمية Quantum Fluctuation » ، وعادة ما تشتمل على ظواهر ذات طاقات دقيقة جداً ، تدوم لفترات زمنية غلية فى الصفر ، ولكن فى حالة ما إذا كانت الطاقة الإجمالية للكون « صفراً » فعلاً ، حينئذ فيمكن أن تمثل ببساطة أكبر تقلب كمى على الإطلاق متمثلاً فى تدفق ضخم من النشاط ، تفجر فى أحضان الخواء البارد للعدم .

وبطبيعة الحال ، فهناك مشكلة مع كل هذا ، أو على الأقل تنشأ مشكلة لدى أى شخص يستهويه مثلما يستهوى أغلب الفيزيائيين ، لاعتبارها تفسيراً لعملية الخلق ، بدل كونها مجرد وصف له . والمشكلة هى أنها جميعها تفترض مسبقاً وجود شيء ما ، يمكن أن يحدث فيه ذلك « التقلب الكمى » ، الذى يتوقع منه أن يكون قد تسبب فى وجود كوننا . فالتقلبات الكمية التى تحدث طوال الوقت ، والتى تم تحديدها بالفعل ،

لا تعتبر تقلبات لعدم مطلق ، بالمعنى الدقيق للكلمة ، لكنها تقلبات فراغ الزمكان ، الذى يغتبر بالنسبة للفيزيائى شيئا مختلفا تماما عن العدم المطلق . والتفكير فى اصل الكون ، على أنه تقلبات لعدم مطلق ، يشير فقط أسئلة أخرى عما نقصده بانفعل بالعدم فى هذا السياق . ما الذى اعطى هذا العدم القدرة على أن يتقلب ؟ هل يمكن لفكرة العدم المطلق المتضمنة على هذه القدرات أن تستقر بأية حال ، أم أن امتلاك القدرة على الخضوع لظاهرة التقلب يمنعنا من تسميته عدما ؟

ربما نشأ كوننا كحالة من حالات تقلب كمى ، أو أنه متذبذب بلا نهاية بين الانفجار والانسحاق ؛ ولكن ايا كانت الاجابة الحقيقية ، فانى اشعر بأنها اجابة ستظل بعيدة الاحتمال أن ترضى معظمنا ، عندما نفكر فى وجود أو عدم وجود أصل للكون على الاطلاق . وأنا شخصيا اعتقد انه حتى اذا كانت نظرية التقلب الكمى لأصل الكون الذى نراه حولنا صحيحة ، فان غموض الخلق الأساسى ، اذا ما كان هناك خلق أساسى ، سيظل هكذا — مجرد غموض ، فالغموض لم يزد عن أن تحرك خطوة للوراء ، الى النقطة التى فشل عندها فهمنا . وأنا أعتقد ان وصفا رياضيا لأصل المادة والطاقة من لا شيء ، لا يمثل تفسيراً لهذه العملية . ووجهة نظرى الشخصية هذه مبنية على الحالة الراهنة لعلم خلق الكونيات ، وأنا متأكد تماما من أن العديد من الفيزيائيين سيرفضون بشدة فكرة أن أوصافهم الناجحة للأحداث لا توجد لها تفسيرات . ويمكنك أن تنقب فى بعض الكتب التى تتناول الموضوع ، اذا أردت أن يكون لك رأى شخصى فى هذا الشأن .

الذرات

ATOMS

نحن نعيش في عالم تصفحه الذرات ، ونحن كجزء من هذا العالم تتكون أجسامنا من الذرات . وغالبا ما تتحد الذرات في جسيمات أكبر تسمى بالجزيئات ، أو تتغير تغيرا طفيفا الى جسيمات تسمى بالأيونات، في حين يتكون تنوع وتعدد الأشياء الموجودة في عالمنا من تلك الوحدات البنائية التي نسميها الذرات . والكيمياء هي الاسم الذي نطلقه على التغيرات التي تحدث عندما تتفاعل الذرات والجزيئات والأيونات مع بعضها البعض . وعلى ذلك تعتبر الذرات الجسيمات الأساسية للكيمياء ؛ لكنها ليست بالجسيمات الأساسية بالمعنى الحقيقي ، حيث تتكون الذرات نفسها من أعداد مختلفة من ثلاثة جسيمات دون ذرية ؛ وهي البروتونات والنيوترونات والالكترونات . ولكي نفهم عالم الكيمياء، لا نحتاج الى التنقيب في المادة الى درجة أعمق من مستوى البروتونات والنيوترونات والالكترونات ، ولكن بطبيعة الحال يمكننا أن نعبر أغوارا أعمق ، ليس بالنسبة للالكترونات ، ولكن بالنسبة للبروتونات والنيوترونات ، التي يتكون كل منها من ثلاثة كواركات .

وعلى ذلك ، تعتبر البروتونات والنيوترونات والالكترونات المادة الخام للكيمياء ، وهي التي تدخل في التفاعلات الكيميائية ، حيث تشكل هذه الجسيمات الوحدات البنائية لكل الذرات التي تعتبر الوحدات البنائية لجميع المواد الكيميائية . وعندما يختبر الكيميائيون الدور الرئيسي للذرات في عالم الكيمياء ، يجب أن يتناول بحثهم داخل وخارج الذرة . فيجب أن يبحثوا داخل الذرة للكشف عن طبيعتها الداخلية ، التي تجعلها تتماسك وتعمل ؛ ويجب أن يبحثوا خارجها ، ليختبروا ما يحدث عندما تتلاقى الذرات فتتفاعل مكونة مواد كيميائية جديدة . فعالم الكيمياء كله مشمول بهذه الفكرة .

وسوف نبدأ بالنظر أولاً نحو الداخل ، لكي نخبر البروتونات والنيوترونات والالكترونات ، ونحاول فهم طبيعتها وكيفية سلوكها .

وبمقارنة البروتون بالأشياء المألوفة لنا نجد أن كتلته وحجمه متناهيان في الصغر ، فالبروتونات لها كتلة تساوى على نحو تقريبي وحدة كتلة ذرية واحدة ، وهى تساوى بالوحدات المعروفة لنا 1.67×10^{-27} كيلوجرام ، 10^{-27} صيغة رياضية مختصرة للتعبير عن كسر عشرينى ذى سبعة وعشرين صفراً بين الرقم المضروب فيه والفاصلة العشرية) . أما من ناحية الحجم فيبلغ قطره 1×10^{-10} متراً ، وهناك اختلافات طفيفة بين كتلتى وحجمى البروتون والنيوترون ، ولكنها من الصغر بالنسبة لنا ، بحيث لا تشكل أمراً ذا شأن . وعلى الرغم من أن البروتونات والنيوترونات صغيرة جداً بالمقارنة بأحجامنا وأوزاننا ، إلا أنها تعتبر كبيرة جداً بالمقارنة مع الالكترونات ، حيث تبلغ كتلة الالكترون 9.108×10^{-31} كيلوجرام ، والتى يتضح معناها إذا ما وضعناها في صورة رقمية ، حيث تكون كتلة البروتون أثقل من كتلة الالكترون بـ ٥٤٥ ألف مرة . وتحتوى الالكترونات على قدر قليل من المادة ، حتى يكاد ألا يكون لها مادة على الإطلاق ، ومع ذلك سوف نرى أنها المسئولة عن كل ثراء وتنوع عالم الكيمياء .

ويمكن الاختلاف الجوهري بين مكونات الذرة الثلاثة ، البروتونات والنيوترونات والالكترونات — ذلك الاختلاف الذى يقع في صميم كل التغير الكيميائى — في نوع الشحنة الكهربائية التى يحملها كل جسيم منها . فالبروتون يحمل شحنة كهربية موجبة ، ويعتبر مقدار شحنته هو الوحدة لقياس الشحنات الكهربائية ، ومن ثم فإنه يحمل مقداراً من الشحنة = $1+$ فى حين يحمل الالكترون شحنة مساوية ولكنها مضادة لشحنة البروتون ، ومن ثم فإن له شحنة كهربية سالبة تقدر بـ $1-$. بينما لا تحمل النيوترونات أية شحنات كهربية على الإطلاق ، بمعنى أنها متعادلة كهربياً ؛ وعلى ذلك ، تعتبر البروتونات والالكترونات الجسيمات المشحونة كهربياً داخل الذرات ، وتذكر أن الأجسام ذات الشحنات الكهربائية المختلفة ، كالبروتونات والالكترونات تتجذب نحو بعضها البعض بسبب القوة الكهرومغناطيسية ؛ فى حين أن أجساماً ذات شحنة كهربية متشابهة مثل البروتونات أو الالكترونات سوف تتنافر عن بعضها البعض بتأثير نفس القوة وتعتبر هذه القوى التجاذبية والتنافرية ، بين البروتونات والالكترونات هى المسببة لكل التغيرات التى نسميها كيمياء . فهى تعمل على تدافع وتجاذب البروتونات والالكترونات للذرات ، فتتخذ ترتيبات وتكوينات

جديدة خلال التفاعلات الكيميائية . ويمكن أن تختزل الكيمياء جميعها الى رقصة كهربية شديدة الاهتياج من الالكترونات الدوارة والبروتونات والالكترونات هي الراقصات اللاتي يتحركن طوال الوقت ، حيث تتعرض للدفع والجذب من مكان لآخر ، مثل الراقصات البارعات اللاتي يتنافس عليهن في صالة رقص . فقصّة الكيمياء ، هي في الأساس قصة إعادة ترتيب وضع الالكترونات .

وعلى ذلك ، تتكون الذرات من بروتونات ونيوترونات والكترونات ، ويتكون كل شيء آخر من الذرات ، ولكن كم عدد أنواع الذرات الموجودة في الطبيعة — هل ذرة واحدة ، عشرات الذرات ، مئات الذرات ، ملايين الذرات ؟ في حقيقة الأمر ، هناك اثنان وتسعون نوعا مختلفا من الذرات ، توجد بصفة طبيعية على سطح الأرض ، لذلك يبدأ تسلسل التعقيد الكيميائي بثلاثة جسيمات دون ذرية ، والتي ، تتحد لتكون اثنين وتسعين نوعا من الذرات ، والتي تتحد لتكون تنوعا لا محدودا تقريبا من المواد الكيميائية المحيطة بنا والموجودة داخل أجسامنا .

وتعرف المواد الكيميائية التي لا تحتوي الا على نوع واحد من الذرات بالعناصر ، بمعنى أن لدينا اثنين وتسعين عنصرا من العناصر الموجودة بصورة طبيعية ، حيث يوجد اثنان وتسعون نوعا مختلفا من الذرات . وتسمى المواد الكيميائية التي تحتوي على أنواع مختلفة من الذرات المتحددة مع بعضها البعض بالمركبات ، وهناك عدد لا يحصى من المركبات الموجودة على سطح الأرض ، ولا توجد نهاية فعلية من المركبات الممكنة ، التي يمكن أن تتكون من خلال تفاعل الذرات من خلال عدد مختلف من الطرق والاتحادات .

ويوجد اثنان وتسعون عنصرا ، ومن ثم الاثنان والتسعون نوعا من الذرات ، التي يتكون منها العالم مدونة في الجدول الدوري للعناصر (انظر شكل ٩ - ١) . يبدأ الجدول الدوري من أعلى الى اليسار ، بأبسط وأصغر أنواع الذرات ، وهي ذرة الهيدروجين (والتي يرمز لها بالحرف H) ، وينتقل بصورة منتظمة الى الذرات الأكبر والأكثر تعقيدا ، عندما نقرأ كل صف أفقي مبتدئين من اليسار ومتجهين الى اليمين ، ثم تنتقل أسفل الى الصف التالي ، وهكذا ، إلا اذا وجهنا السهم للقفز الى موقع جديد . لذا يأتي بعد الهيدروجين النوع التالي الأكبر من الذرات ، وهو ذرة الهليوم (He) ، وتتبعها ذرة الليثيوم (Li) ، فالبيريليوم (Be) فالكربون (C) ، وهكذا حتى نهاية الجدول الى أن نصل الى ذرة اليورانيوم (U) ، وهي التي رقم عنصرها ٩٢ ، وتتكون من أكبر وأعقد الذرات الموجودة بصفة طبيعية على سطح الأرض .

(وهناك عدد قليل من الذرات الموجودة بصورة غير طبيعية ، والتي يتم تخليقها في المصنع بطرق اصطناعية) .

ويجب أن نقوم باستكشاف تركيب الذرات بشيء من التفصيل ، وناخذ في اعتبارنا الاختلافات الموجودة بين الأنواع المختلفة . وأفضل مكان نبدأ منه ، هو من خلال أبسط أنواع الذرات ، وهي ذرة الهيدروجين .

1	H	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

شكل (١ - ١) الجدول الدوري للعناصر

وتعتبر ذرة الهيدروجين من الأشياء البسيطة جدا بالفعل . فهي عبارة عن بروتون يحيط به إلكترون واحد (انظر الذرة الموجودة في أعلى شكل ٩ - ٢) . فعند النظر الى صورة ذرة الهيدروجين هذه ، نجد انفسنا امام لغز : لماذا يقع الإلكترون على هذا البعد الشاسع (نسبيا) من البروتون الموجود في مركز الذرة ؟ لماذا لا يتبع الإلكترون ببساطة بين احضان البروتون ، طالما انه منجذب اليه بتأثير القوة الكهرومغناطيسية ؟ والاجابة على ذلك هي ان الإلكترون يمتلك بعضيا من الطاقة ، تكفي لمنع من التهاوى تجاه البروتون . والطريقة التقليدية للتفكير في هذا الإلكترون المتلوى بالطاقة ، هي القول بانه يجب ان يكون متحركا ، يجب ان يكون دائرا حول البروتون بطريقة اشبه بدوران الأرض حول الشمس . ويقدم لنا هذا التصور بطريقة بسيطة تفسير سبب كون ذرة الهيدروجين بهذه الضخامة (النسبية ، مرة اخرى) ، على الرغم من صغر مكوناتها - فنحن ننظر الى ابعاد نظام شمسي مصغر ، يحتوى على قدر كبير من الفضاء الفارغ (١) .

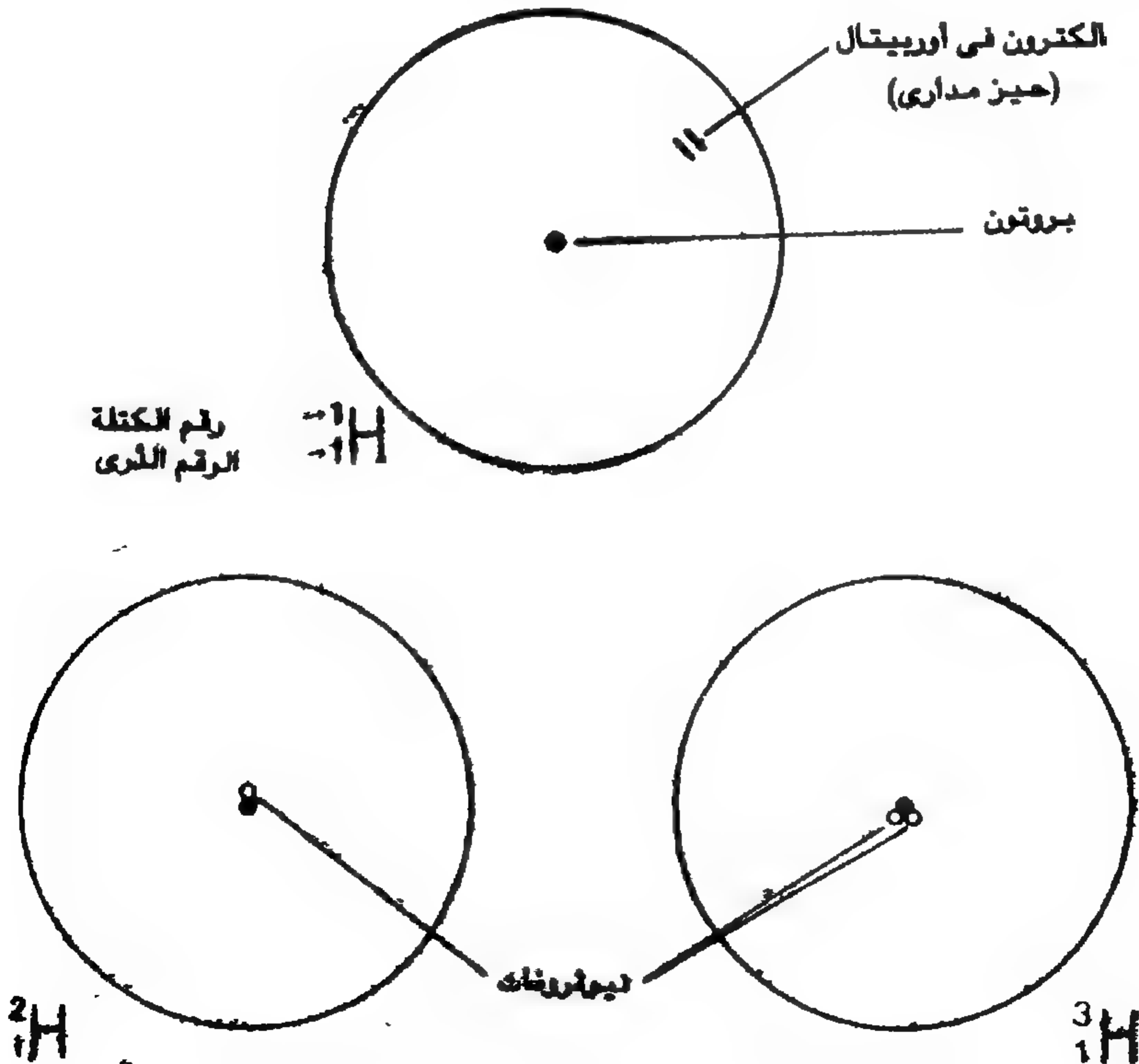
ومن المؤسف ان هذه صورة مفرطة في التبسيط ومضللة تماما . وتخبرنا الكيمياء الحديثة ، والتي تأسست على قواعد ميكانيكا الكم ، بان نعتبر الإلكترون كموجة او اهتزازة ، متكونة اما من « ظاهرة الإلكترون » او من « احتمالية وجود الكترون » يشغل كل « الحيز المدارى Orbital » (٢) المبين في شكل (٩ - ٢) ، وفي الواقع يمتد بعض الشيء خارج هذا الحيز . فالحيز المدارى للإلكترون هو مجرد حجم من الفراغ يحتل تواجد الإلكترون به ، وترسم حدود ذلك الحيز لتعطي احتمالية بنسبة ٩٠٪ لوجود الإلكترون في مكان ما داخله . لذا فاحتمال وجود الإلكترون خارج هذا الحيز هي ١٠٪ على الاجمال ، ويتضائل الاحتمال تدريجيا كلما ابتعدنا خارجة . لذا تخبرنا ميكانيكا الكم انها ان يتخطى من فكرة الإلكترون كجسم صلب صغير الحجم من المادة ، او لذا أصغرنا على استبقاء هذه الفكرة ، فلنترك اين الإلكترون يجب ان يتحرك بصورة عشوائية ، بطريقة لا نستطيع ان نعرف منها على وجه اليقين مكان وجود الإلكترون ، ولماذا ينفل في أى لحظة من لحظات الزمن ، وكل ما يمكننا على افضل تقدير ان نقول اين من الممكن ان نجد الإلكترون أو حتى من المحتمل ان يكون ، وما امكانية أو احتمال عبه . ويمكننا ، بمعنى آخر ، ان نعطي فقط وصفا احتماليا عن سلوك الإلكترون . فلذا ، عندها نبدأ بدراسة الإلكترونات وانشطتها في مجال الكيمياء ، فمن الأفضل ان نفكر في الإلكترون على كونه كامئا بطريقة ما داخل الحيز

المدارى الذى يوجد به ، ويستطيع أن يقوم بغزوات بين الفينة والاخرى عبر حدود هذا الحيز .

فلو كان فى مقدورنا أن ننكمش لنصبح بأبعاد العالم الكيمياءى الصغير جداً ، وإمكننا تفحص عدد كبير من ذرات الهيدروجين ، فسوف نكتشف شيئاً مختلفاً قليلاً فى البعض منها . ففى بعض الذرات ، يكون البروتون الموجود فى قلبها مرتبطاً بنيوترون . وفى البعض الآخر يكون البروتون مرتبطاً باثنين من النيوترونات (انظر أسفل شكل ٩ - ٢) . وهذان النوعان المختلفان عن ذرة الهيدروجين المعتادة نادران جداً ؛ وربما نجد واحداً أو اثنين منها فى كل ١٠٠٠٠ ذرة من النوع الطبيعى ، لكنهما موجودان ومهمان . فهما يوضحان الفكرة العامة ، بأن ذرات بعض العناصر قد لا تكون متماثلة ، لأن عدد النيوترونات الموجودة بأنويتها قد يختلف . ولا يؤثر الاختلاف فى عدد النيوترونات بداخل ذرات أى عنصر على الخصائص الكيميائية الأساسية للذرات . فالخصائص الكيميائية ، أى التفاعلات التى يمكن أن تساهم فيها ذرات عنصر ما ، تتحدد بعدد البروتونات والالكترونات التى تحتوى عليها الذرات . والكيمياء ، هى كل ما يدور من تفاعل بين شحنات كهربية موجبة وشحنات كهربية سالبة ، ولما كانت النيوترونات من الأجسام المتعادلة كهربياً ، فليس لها تأثير حقيقى على الطبيعة الكيميائية للذرات التى تحتوى عليها ، عدا بعض التأثيرات الطفيفة والدقيقة .

تحتوى جميع ذرات الهيدروجين على بروتون واحد فقط ، وإى ذرة تحتوى على بروتون واحد ، يجب أن تكون ذرة هيدروجين . ويحدد عدد البروتونات الموجود فى أى ذرة نوع هذه الذرة . واعتراقاً بهذه الأهمية ، يُعرف عدد البروتونات الموجودة فى أى ذرة ، بـ « عددها الذرى Atomic Number » لذا ، يحدد العدد الذرى لأى ذرة نوع هذه الذرة . ولما كانت جميع الذرات متعادلة كهربياً على الأجمال ، فيجب أن تحتوى جميعها على نفس العدد من الالكترونات مثل البروتونات ، فى حين يعتبر رقم البروتون من الخصائص الأكثر أساسية ، تلك لأنه عندما تتفاعل الذرات فيما بينها ، يمكنها أن تكتسب أو تفقد بعض الالكترونات ، فى حين يظل عدد البروتونات التى تحتوى عليها الذرة بلا تغير أثناء التفاعل الكيميائى . أما « العدد الكتلى Mass Number » لأى ذرة ، فهو عدد البروتونات مضروباً الى عدد نيوتروناتها (انظر شكل ٩ - ٢) . فإذا عرفنا العدد الذرى والعدد الكتلى لأى ذرة ، يمكن أن نستنتج بسهولة تركيبها بدلالة النسب المئوية الثلاثة بون الحرية .

وعلى ذلك ، القاعدة الأساسية للبناء الذري هي كالآتي : كل الذرات من نوع معين ، وبمعنى آخر لعنصر معين ، تحتوى على نفس العدد من البروتونات والالكترونات وعدد متغير من النيوترونات . ويعنى التغير فى عدد النيوترونات ، ان الذرات من أى نوع تأتى فى عدة تنويعات ، تختلف فقط فى عدد النيوترونات التى تحتوى عليها . وتعرف هذه التنويعات أو التغيرات بـ « نظائر Isotopes » العنصر الواحد . لذا فمن خلال المعلومات التى حصلنا عليها من قبل ، فهناك ثلاثة نظائر لذرة الهيدروجين فى الطبيعة — النظير الذى ليس به نيوترونات (وعلى ذلك تكون كتلته الكلية مساوية لكتلة ذرية واحدة) ، والنظير الذى به نيوترون واحد (وعلى ذلك تكون كتلته الكلية مساوية لوحدتين من الكتل الذرية) والنظير الذى يوجد به نيوترونان (والذى كتلته تساوى ثلاث وحدات كتل ذرية) . وتذكر ان كتلة الالكترون غاية فى الضآلة بالمقارنة بكتلة البروتون والنيوترون ، لذا ، فعند حساب الكتلة الكلية لذرة ما ، نهمل عادة الالكترونات ، ولا نضيف سوى عدد البروتونات الى عدد النيوترونات ، للحصول على كتلة تساوى العدد الكلى للذرة .



شكل (٩ - ٢) نظائر ذرة الهيدروجين

وهناك مصطلح آخر يجب أن نعرض له قبل النظر الى عدد آخر من الذرات . ترتبط كل النيوترونات والبروتونات الموجودة داخل ذرة ما ببعضها البعض في قلب مركزي دقيق ، يعرف بـ « نواة Nucleus » الذرة . وهذه النواة توجد في حيز صغير بالمقارنة بالحيز الكبير الذي توجد فيه الالكترونات ، بالرغم من انها تحمل بالفعل كل كتلة الذرة . واذا أردنا أن نمثلها بشكل تقريبي ، فإذا كان حجم النواة يمثل نقطة نهاية الجملة على هذه الصفحة ، فمدارات الالكترون المحيط بها ستبعد عنها عدة أمتار أو عدة عشرات الأمتار من جميع الاتجاهات (وتعتمد في ذلك على عنصر الذرة الذي تنتهي اليه) .

وعندما عرفت أن الهيدروجين هو أبسط العناصر جميعها ، فكل ذرة هيدروجين تحتوي على بروتون واحد فقط في نواتها ، ونتيجة لذلك، فإن عددها الذري هو ١ ، ويجب ألا تتدهش عندما تعلم أن ذرات العنصر التالي ، عندما تنتقل من الذرات الأبسط الى الذرات الأكثر تعقيداً ، له بروتونان اثنان في نواته ، وعلى ذلك فعدده الذري (٢) . وتسمى هذه الذرات بذرات الهيليوم . تحتوي جميع ذرات الهليوم على بروتونين ، ولذلك تحتوي على الكترونين ، ومن واحد الى أربعة نيوترونات (اثنين عادة) .

وعند النظر الى ذرة هليوم (انظر شكل ٩ - ٣) ، نجدنا أمام لغز جديد . فالرسم يبين أن النواة تحتوي على بروتونين مرتبطين ببعضهما البعض ، على الرغم من أننا نعرف أن هذين البروتونين يجب أن يتنافرا بعنف ، نتيجة للقوة الكهربية ، التي تباعد بين الأجسام التي تحمل شحنة كهربية من نفس النوع . إلا أنه يمكنك أن تتفكر من الفصل الثالث ، أن هذا المكان هو الذي تؤثر فيه القوة النووية القوية في تركيب الذرات . فالبروتونات والنيوترونات تحمل شحنة القوة النووية القوية، أو بمعنى آخر تشعر بها . فالقوة النووية القوية أقوى من القوة الكهرومغناطيسية في المسافات القصيرة ، في حين أن القوة الكهرومغناطيسية يمكنها التغلب على القوة النووية القوية في المسافات الأطول . فداخل الحدود المحكمة لأي نواة ذرية ، تتغلب القوة النووية القوية بسهولة على القوة الكهرومغناطيسية ، ولولاها لتمزقت النواة . ومع ذلك ، فإن بعض النويات الكبيرة تتمزق بالفعل ، وذلك في عملية تسمى بالانشطار النووي Nuclear Fission .

وعندما نرتقى سلم التعمد الذري ، سيكون للنوع التالي من الذرات الذي نقابله ثلاثة بروتونات في نواته ، ومن ثم فعدده ذري هو ٣ ،

وعادة أربعة نيوترونات وثلاثة إلكترونات . وتسمى هذه الذرات بذرات الليثيوم . ويدخل مخطط ذرة الليثيوم (شكل ٩ - ٣) قاعدة مهمة جديدة من قواعد البناء الذري . فهو يبين أن الإلكترون الثالث قد احتل حيزا مداريا جديدا ، أكثر بعدا عن النواة . ونذكر أن المدارات الإلكترونية هي ببساطة حجم الحيز المحيط بنوى الذرات ، التي يمكن أن توجد بها الإلكترونات . وسوف نهتم كثيرا بالمنطق المتضمن لهذه المدارات لاحقا ، ولكن هناك شيئا واحدا يجب أن أقوله في الحال ، هو أنه من الممكن فقط للإلكترونين أن يشغلا أي حيز مداري واحد . لذا ، نحتاج إلى مدارين مختلفين ليحتويا على الإلكترونات الثلاثة لذرة الليثيوم . إلا أنها ليسا بالمتمايزين تماما كما قد يظن ، حيث يتداخل المداران مع بعضهما البعض في منطقة مشتركة ، بحيث يمكن أن يوجد الإلكترون الخارجى في أي مكان داخل حيزه المداري ، الذي يشمل منطقة التداخل التي يمكن أن يوجد بها أيضا أي من الكتروني الحيز الداخلى .

وبعد الليثيوم ، ننتقل إلى البريليوم ، تلك الذرة ذات العدد الذري أربعة ، وعلى ذلك تشتمل نواتها على أربعة بروتونات وعادة خمسة نيوترونات ، وجميعها محاطة بأربعة إلكترونات . ونذكر أن هناك متسعا في كل حيز مداري لزوج من الإلكترونات ، لذلك يمكن أن يوجد الإلكترون الرابع لذرة البريليوم في الحيز المداري الخارجى . ويمكن أن تتضح قاعدة أخرى من قواعد البناء الذري من الشرح الذى وصلنا إليه حتى الآن : تميل الإلكترونات إلى أن تكون في حيز مداري أقرب للنواة ، عن أن تكون في حيز أبعد حيث أنها تكون بذلك في حالة من الطاقة أقل ، أو بمعنى آخر ، تكون في حالة تحد أقل للقوة الكهرومغناطيسية ، والتي تحاول بطريقة أو بأخرى جذبها إلى النواة . وعلى ذلك فقاعدتنا الجديدة عن البناء الذري ، يفضل ذكرها على النحو التالى : تميل الإلكترونات إلى شغل حيز الطاقة الأقرب .

ويمكننا الآن أن نلخص القواعد الأساسية للبناء الذري :

- تتكون الذرات من بروتونات ونيوترونات وإلكترونات .
 - عدد البروتونات في أي ذرة يساوى دائما عدد الإلكترونات ، وتكون الذرة لذلك متعادلة كهربيا .
 - قد تحتوي ذرات العنصر الواحد على عدد مختلف من النيوترونات .
- (النظائر)

● تشغل الكترونات الذرات حجما من الفراغ يعرف بالمحيز المدارى ،
(أوبيتال) ويحتوى كل حيز على الكترونين على الأكثر .

● تميل الالكترونات الى شغل الحيز المدارى الأقل طاقة أولا ،
والذى هو الأقرب للنواة ، ثم الأبعد فالأبعد ، وهكذا .

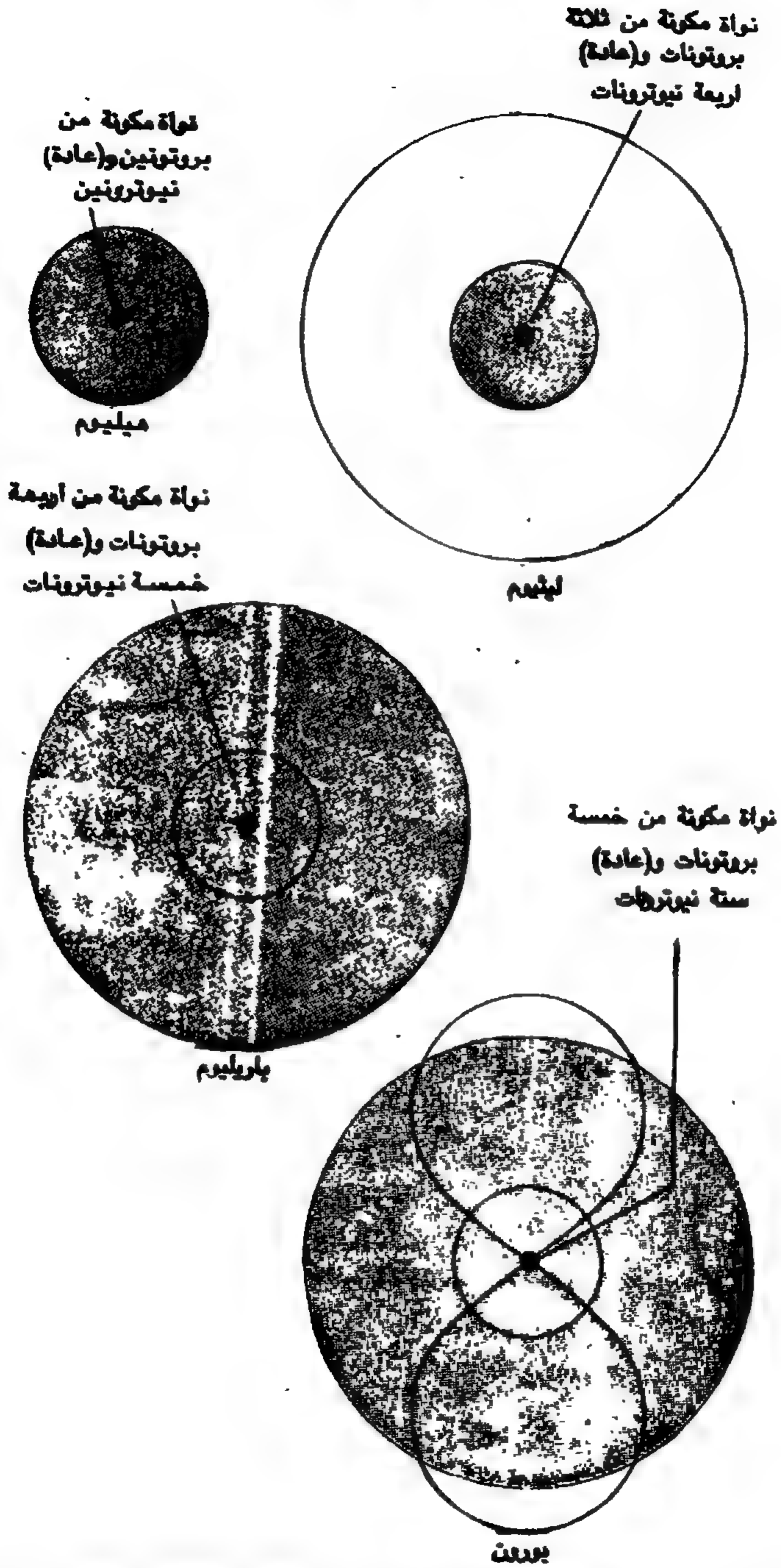
وإذا دققنا النظر فى الجدول الدورى ، فسوف نجد عناصر مناظرة لكل الأعداد الذرية بدءا من العدد الذرى ١ (ذرة الهيدروجين) الى العدد الذرى ٩٢ (ذرة اليورانيوم) . ولا توجد فراغات فى سلم التعقد الذرى الطبيعى — فهناك ذرات فى كل عدد ذرى ممكن بدءا من ١ الى ٩٢ . وهذا يعكس حقيقة أن الذرات المركبة ، قد تكونت من اتحاد أو اندماج ذرات هيدروجين . فالهيدروجين هو الوقود لأقران صهر الذرة ، التى نطلق عليها « انفجارات السوبرنوفات » . فالكون حين بدأ يتطور بعد الانفجار العظيم ، اندمجت ذرات بسيطة مع بعضها ، وهى فى الأصل ذرات الهيدروجين ، لتعطى ذرات أكثر تعقيدا بصورة تدريجية بحيث لم يترك فراغ فى هذا التدرج (طبعا مع وجود تفاوت فى الوفرة بين ذرات العناصر المختلفة) . وينعكس هذا التاريخ لذرات الكون فى حقيقة أنه حتى اليوم بعد حوالى من ١٠ الى ٢٠ بليون سنة من الانفجار العظيم ، فإن ما يزيد على نسبة ٩٠٪ من الذرات الموجودة بالكون هى ذرات هيدروجين . فالهيدروجين هو الوقود لأقران صهر الذرة ، التى نطلق عليها النجوم ، ولا يزال يوجد منه الكثير .

وليس من الضرورى الاستمرار فى عرض بنية باقى الذرات فى الجدول الدورى ، بعد أن أوضحنا القواعد الأساسية لبنائها ، لكن هناك نقطة مهمة أخرى حول الحيزات المدارية يجب تذكرها . فإذا طلبت منك أن ترسم ذرة حديد ، ولنقل من نوع النظير الشهير التى يحتوى على ٢٦ نيوترونا ، فإليك تقوم ببساطة بمحاولة رسم نواة محتوية على ٢٦ بروتونا — حيث أن العدد الذرى للحديد ، والذى رمزه Fe حين تكشف عنه فى الجدول الدورى هو ٢٦ — و ٢٠ نيوترونا ، ومحاطة بـ ٢٦ الكترونا . وبناء على القواعد السابقة للبناء الذرى ، فمن المحتمل أن تضع الالكترونات فى ١٣ مدارا ، من المدارات المقترجة فى بعدها عن النواة ، وجميعها فى دوائر بنفس الشكل الجميل للمدارات التى تحدثنا عنها حتى الآن . إلا أن الأمور ليست بهذه البساطة . فعندما نتتبع الذرات الموجودة فى الجدول الدورى بعد ذرة البريليوم ، سوف نفاجأ بوجود بعض الالكترونات فى حيزات مدارية مختلفة الشكل . فالبيرون، على سبيل المثال ، وهو العنصر التالى ، ذو العدد الذرى ٥ يأخذ

مداره الخارجى الثالث شكلا مدارياً ذا فص مزدوج ، كما هو مبين فى شكل ٩ - ٣ . وهناك ذرات أكبر لها بعض الكترونات فى حيزات مدارية أكثر تعقداً ، ذات أربعة فصوص أو حتى ثمانية فصوص . إلا أنه برغم أشكالها الغريبة أحياناً ، تعتبر الحقيقة الأساسية عن المدارات الإلكترونية بسيطة جداً : فكل حيز هو ببساطة عبارة عن منطقة من الفراغ ، يمكن شغلها بالكترون أو اثنين على الأكثر ، فلكى يحتل الإلكترون أى حيز ، يجب أن يمتلك قدراً مناسباً من الطاقة ، التى تسمى أحياناً مستوى طاقة الحيز .

ويمكن أن يمثل مستوى الطاقة لكل حيز مدارى بالمخطط الموضح فى شكل (٩ - ٤) . للبعض منها . ويوضح هذا الشكل السمة الأساسية للعالم المتناهى الصغير ، التى قابلناها بالفعل : تتغير مستويات الطاقة فى ذلك العالم على صورة طفرات ، أو قفزات ، وليس فى قيم متصلة ، أو بمعنى آخر بصورة تتفق مع طبيعة الكم . فالكيانات الموجودة فى العالم دون الذرى ، كالألكترونات ، تتوزع فى سلسلة من مستويات للطاقة محددة القيم ، بدلاً من أن يكون لها طاقات منتشرة بشكل حر على مدى مستمر . ويمكن لأى الكترون أن يقفز الى مستوى طاقة أعلى ، إذا امتص فوتوناً من اشعاع كهرومغناطيسى (مثل الضوء) ، يعطيه الطاقة اللازمة بالضبط التى تجعله يرقى لهذا المستوى ؛ كما يمكن للإلكترون فى مدار طاقة عال ، أن يهبط الى مدار طاقة أدنى من خلال قذف فوتون يحمل معه القدر المناسب من الطاقة ؛ ولكن فى غياب هذه الامتصاصات والابتعاثات للأشعة الكهرومغناطيسية ، يظل الإلكترون حبيساً فى المدارات التى يشغلها .

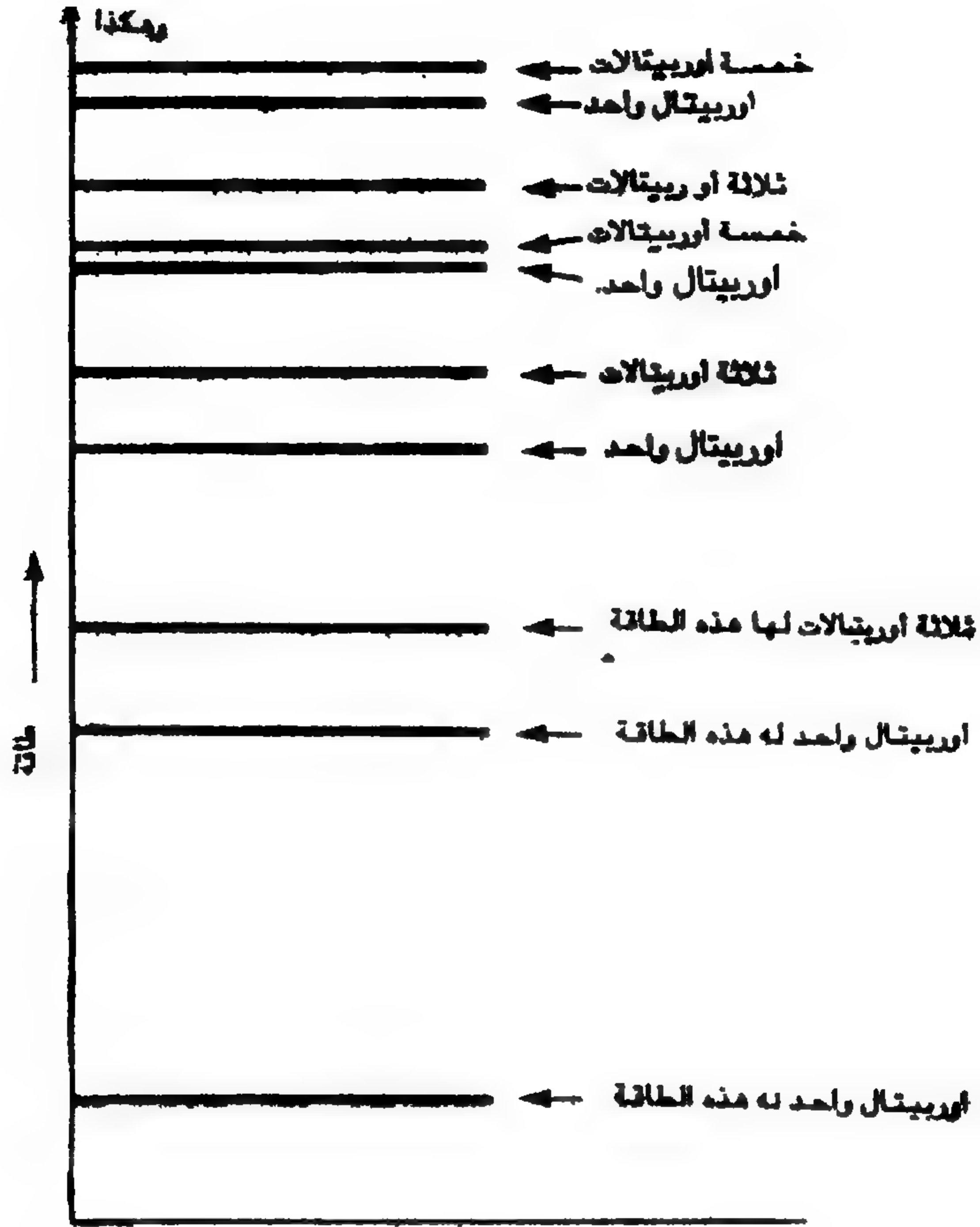
وبرزت النظرية الحديثة عن الذرات والكترونات من معاملة الذرات كموجات ، بدلاً من التعامل معها كجسيمات صغيرة صلبة كما كنا نعتقد من قبل . وخلاصة القول ، بطبيعة الحال ، تعتبر الفيزياء الحديثة أن الإلكترون يمتلك لخواص هى مزيج من خصائص الجسيمات والموجات ، طبقاً لقواعد ازدواجية الجسيم - الموجة التى تعبر عنها ميكانيكا الكم ، والتى تناولناها بالشرح فى الفصل السابع . ويعتبر الفيزيائى الألمانى اروين شرودينجر هو الذى استخدم فكرة موجات الإلكترون فى استنتاجه المنطقي الرياضى فى العشرينيات من هذا القرن ، حيث أخذ الخواص المعروفة للإلكترون ودمجها فى « معادلته الموجية » الشهيرة ، التى أتاحت وصف سلوك أى موجة باستخدام الأعداد .



شكل (٩ - ٣) بعض الذرات والحيزات المدارية التي يشغلها الالكترون . تعتبر الحيزات المظلمة ممثلة ، اى انها تحتوى على الكترونين ، وتحتوى غير المظلمة على الكترون واحد فقط . يحتوى المدار الذى يتخذ الشكل ذا الفصين لذرة البورون على الكترون واحد فقط على الرغم من انه محجوب بتداخل بين الحيزات المدارية .

وعندما تطبق المعادلة الموجية لشرودينجر على الإلكترونات المحيطة بالنوى الذرية ، ينتج عنها عدد لا نهائى من الحلول ، مناظر لعدد لا نهائى من موجات الإلكترون الممكنة . أما إذا وضعت بعض القيود المعقولة فإن المعادلة الموجية لشرودينجر تصبح أكثر فائدة . واحدى صور الموجات المهمة التى تحظى بأهمية خاصة هى ما يعرف بـ « الموجات المستقرة Standing Waves » . ويمكنك أن تجد هذا النوع من الموجات على وتر آلة الكمان ، على سبيل المثال ، حيث تتذبذب الأجزاء الأخرى من الوتر لأعلى ولأسفل ، بينما لا تتحرك الموجة على الوتر على الإطلاق . والموجات المستقرة هى فى الأساس مجرد ذبذبات ، تعمل على تخزين الطاقة من أى شيء يتذبذب ، لذا فهى مناسبة للتعبير عن الطاقة المخزنة داخل الإلكترونات المحيطة بأية ذرة . فإذا لم نأخذ مستوى الموجات المستقرة فى الاعتبار الناتجة من معادلة شرودينجر ، حينئذ ستظهر سلسلة من موجات الكترونية حول نواة ، تتفق طاقتها مع مستويات الطاقة المعروفة الموجودة فى الإلكترونات داخل النواة . وتؤخذ هذه الموجات الثابتة لتمثل الحيزات المدارية المتاحة للإلكترونات حول نواة الذرة ؛ وتتوقع معادلة شرودينجر أيضا كل الحيزات المدارية المناظرة لطاقات عديدة . ويمكننا القول بتعبير رياضى بأن مربع سعة الموجة الإلكترونية عند أى موقع (أى قيمة السعة مربعة فى نفسها) يعبر عن احتمال وجود الكترون عند هذه النقطة فى أية لحظة من الزمن . وعلى ذلك يكشف أحد الاستنتاجات الرياضية البسيطة نوعا ما عن « شكل » كل حيز مدارى الكترونى ، والذي يعتبر فى حقيقة الأمر الموضع الصحيح « لـ ٩٠٪ من حده الاحتمالى » ، كما سبق وأشرنا فى الفصل الثامن .

لذا ، فصورتنا للحيزات المدارية الإلكترونية المتاحة حول الذرات ، نابعة من الموجات الثابتة ذات الطاقات العديدة ، والتى تنبأت بها معادلة شرودينجر الموجية عند تطبيقها على الإلكترونات . إلا أن هذه الموجات ، لا تعتبر موجات ثنائية الأبعاد ، مثل ذبذبات وتر الكمان ، لكنها قريبة الشبه بذبذبات داخل كرة معدنية طرقت بمطرقة (بالرغم من أن هذا التشبيه لا يعتبر صحيحا) . فهى توحي بأنه يمكن اعتبار أى الكترون حول ذرة كشيء مثل سحابة متذبذبة من « ظاهرة الإلكترون » ، بدلا من أن يكون جسيما صلبا دقيقا منطلقا بسرعة حول نواة . وبطريقة بديلة ، فإذا أصررنا على الاحتفاظ بفكرة الإلكترونات على أنها جسيمات صلبة دقيقة ، حينئذ يجب اعتبارها منطلقة فى حركات شاذة داخل الحيز المدارى ، الذى توقعت شكله المعادلة الموجية لشرودينجر ، وباحتمالية



شكل (٩ - ٤) الحيزات المدارية المتاحة للإلكترونات الذرات مقصورة على مستويات طاقة ذات قيم محددة

كونه موجوداً في أحد الأماكن وفي أية لحظة ، كما توقعته معادلة شرودينجر الموجية .

وترسم المعادلة الموجية لشرودينجر الصورة التالية للحيزات المدارية الإلكترونية حول الذرات (انظر الشكل ٩ - ٥) . فهي توحى بنقرة محاطة بـ « أغلفة shells » و « أغلفة ثانوية Sub Shells » من الحيزات المدارية مع وجود فرصة للمزيد من الحيزات المدارية الإضافية داخل

كل غلاف ، كلها انتقلنا الى طاقات أعلى وحيزات مدارية أبعد من النواة . وهذه الأغلفة والأغلفة الثانوية ما هي الا تجميعات من الحيزات المدارية التي تشترك في أحد الخواص الرياضية الأساسية داخل المعادلة الموجية — ولكن ليست لها حقيقة فيزيائية : فالنوى الذرية محاطة ببساطة بالكترونات تشغل مناطق من الفراغ نسميها بالحيزات المدارية .

ويحتوى الغلاف الأول من المدارات فعلا على حيز مدارى واحد فقط وقد ذكرنا أن كل حيز مدارى يمكن أن يحتوى على اثنين من الالكترونات على الأكثر ، ولذلك فيوجد بالغلاف الأول حيز يتسع للكترونين على الأكثر . وبالمناسبة ، فلكى يحتوى المدار على الكترونين ، يجب أن يكون لف أحدهما معاكس للآخر (٣) ، وقد ناقشنا خاصية اللف في الفصل السادس .

ويحتوى الغلاف الثانى على مجموع أربعة حيزات مدارية ، وعلى ذلك فهو يتسع لثمانية الكترونات . الا أنه يمكننا أن نلاحظ من شكل ٩ - ٥ ، أن هذا الغلاف ينقسم الى غلافين ثانويين ، ذوى طاقات مختلفة اختلافا طفيفا . ويحتوى غلاف الطاقة الثانوى الأدنى على حيز مدارى واحد فقط في حين تتماثل الحيزات المدارية الثلاثة الأخرى للغلاف الثانى ، لكنها ذات طاقات أعلى بدرجة طفيفة ، وتوصف بأنها تكون مع بعضها غلافًا ثانويًا آخر للغلاف الثانى . وهناك نقطة جوهرية ، وهى أن أية مدارات تنتمى لنفس الغلاف الثانوى ، تنبأظر مستويات طاقة متماثلة للالكترونات الموجودة بداخلها .

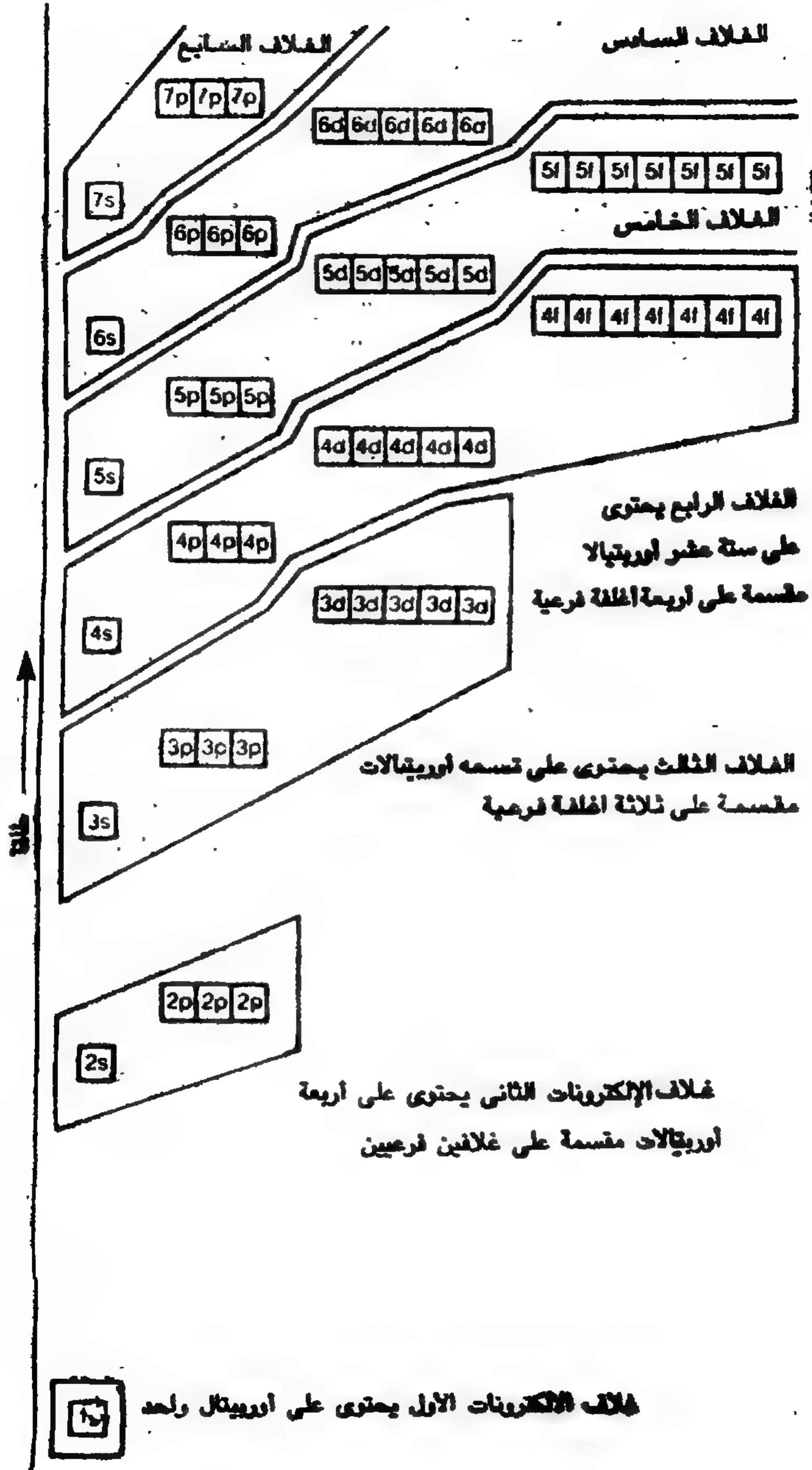
ويحتوى الغلاف الثالث على تسعة حيزات مدارية ، وعلى ذلك فهو يتسع لثمانية عشر الكترونا . وينقسم هذا الغلاف الى ثلاثة أغلفة فرعية تحتوى على واحد ، وثلاثة ، وخمسة حيزات مدارية على التوالى .

أما الغلاف الرابع فيحتوى على ستة عشر حيزًا مداريًا ، يتسع لعدد ٣٢ الكترونا ، موزعين على أربعة أغلفة فرعية ، تحتوى على حيز مدارى ، فثلاثة ، فخمسة ، فسبعة على الترتيب .

ويستمر هذا النمط ونحن نتفحص الحيزات المدارية صعوداً للمستويات الأعلى من الطاقة ، الى أن نجد حيزات مدارية تتسع لجميع الالكترونات الاثنتين والتسعين الموجودة في ذرة اليورانيوم ، والتي تعتبر اكبر أنواع الذرات الموجودة على الأرض بصورة طبيعية . والسمة الأساسية لنمط انشاء الحيزات المدارية ، هي أنه كلما اتجهنا الى طاقات أعلى ، أي نزداد بعداً عن النواة ، نجد أماكن لاعداد متزايدة من الحيزات المدارية ، تستوعب اعداداً متزايدة من الالكترونات .

وعندما نتفحص أية ذرة في البيئة اليومية للطاقة المنخفضة نوعاً ما على الأرض ، فسوف نجد بساطة سارة أخرى فكرناها من قبل : تفضل الالكترونات أن تشغل مدارات الطاقة الأدنى على جميع الحيزات المدارية المتاحة . وتعرف حالة الذرة التي تكون فيها جميع الالكترونات في الحيزات المدارية المقابلة للطاقة الأدنى ، بـ « الحالة الدركية Ground State » (٤) للذرة . وهناك العديد من الظروف التي يمكن أن تخل بهذه الحالة المستقرة ، منها امتصاص الذرة للطاقة في صورة اشعاع كهرومغناطيسي ، على سبيل المثال ، مما يجعل الالكترونات تقفز الى مدارات الطاقة الأعلى ؛ لكن الحالة الدركية هي نقطة بدايتها الأساسية عند اهتمامنا بالذرات والالكترونات .

ويضم الجدول الدوري (شكل ٩ - ١) ، كل الذرات الموجودة في العالم ، ويسمح لنا باستنباط عدد الالكترونات التي تحتوى عليها كل ذرة (حيث أن عدد الالكترونات يساوى عدد البروتونات ، الذى يعتبر العدد الذرى للذرة) . وعلى ذلك ، نتيج لنا المعلومات الموجودة في شكل ٩ - ١ و ٩ - ٥ تحديد الحالة الدركية للتركيب الالكتروني للذرة ، عن طريق تسكين اعداد الالكترونات المطلوبة في الحيزات المدارية المبينة في شكل ٩ - ٥ ، مبتدئين بالحيز ذى الطاقة الأدنى ، ومتجهين لأعلى الى أن توفى جميع الالكترونات في أماكنها . تحتوى ذرة الهيدروجين على سبيل المثال ، على الكترون واحد فقط ، يوجد في المدار الوحيد للغلاف الالكتروني الأول - الذى يعتبر أدنى حيزات الطاقة جميعاً . وذرة الهليوم ذات الالكترونين ، سوف تحتوى على الغلاف الأول ممثلاً ، بدلا من الغلاف النصف ممتلئ لذرة الهيدروجين . وتحتوى ذرة الليثيوم على ثلاثة الكترونات ، وعلى ذلك ، ففي حين يمكن أن يشغل اثنان من هذه الالكترونات الحيز الوحيد للغلاف الأول ، فإن الالكترون الثالث يجبر على شغل حيز الطاقة الأدنى من الغلاف الأعلى . وتحتوى ذرة الكربون على ستة الكترونات ، لذلك فإن الحالة الدركية



شكل (٩ - ٥) تنسب الحيزات المدارية الى الغلفة وأغلفة ثانوية عديدة • وتعرف
الأغلفة الثانوية بـ s, p, d, f لأسباب تاريخية لا تعطينا في هذا المقام •

لطائقتها الأدنى سيكون لها الكترونان في الحيز الوحيد للغلاف الأول ، واثنان من الالكترونات في الحيز الوحيد من الغلاف الثانوى للطاقة الدنيا في الغلاف الثانى ، والالكترونان الباقيان في الحيزات المنفصلة من الغلاف الثانوى للطاقة الأعلى قليلا في الغلاف الثانى . وهذان الالكترونان من ذوات الطاقة الأعلى ، سيشتغلان حيزات منفصلة، بدلا من أن يجتمعا في حيز واحد يتسع لهما ، أساسا لأن شحنتهما الكهربائية السالبة ، ستجعلهما متباعدين عن بعضهما البعض قدر الامكان . ويمكن أن تستمر عملية استنباط تركيب جميع ذرات الجدول الدورى (على الرغم من أنه قد توجد في الحقيقة بعض الاستثناءات في وضع الالكترونات ، لأسباب وجيهة في حيزات خلاف ما تبينه العملية البسيطة المشروحة) .

لقد قابلنا حتى الآن جميع القواعد الرئيسية التى تحكم البناء الالكترونى للذرات : تشغل الالكترونات الحيزات المدارية الموجودة حول النوى الذرية ، التى تتوقع معادلة شرودينجر الموجية طاقتها وشكلها ؛ وفى الحالة الذرية ، تشغل الالكترونات حيزات الطاقة الأدنى المتاحة ؛ وإذا وجد أن اثنين أو أكثر من الالكترونات لها مدارات متاحة متساوية الطاقة ، فانها تشغل مدارات منفصلة كلما أمكن ذلك .

الا أننا عندما ندرس بعناية شكل ٩ - ٥ ، نجد شيئا يثير حيرتنا . فالمشكل يبين بصورة واضحة أن الغلاف الثانوى $2s$ ذو طاقة أقل من الغلاف الثانوى $3p$ ، فى حين أن الأول ينتمى للغلاف الرابع والثانى للغلاف الثالث ، ويثار التساؤل عن السبب فى أن جزءا من الغلاف الرابع يشغل قبل اكتمال الالكترونات فى الغلاف الثالث (٥) . والاجابة ببساطة شديدة هى أنه بعد الغلاف الثانوى $3p$ ، يكون الحيز $3d$ ذا طاقة أقل من الحيزات $3d$ ، كما يدلنا على ذلك تطبيق المعادلة الموجية.

ويمكن أن نجد هناك تعقيدات مشابهة فى أعلى الشكل مثل الغلاف الثانوى $5p$ ، الذى يشغل قبل مدارات $4f$. ولا يجب أن نشغل أنفسنا بهذه التعقيدات ، عندما نأخذ فى اعتبارنا التركيب الالكترونى لآية ذرة . فطاقات المدارات هى التى تهتمنا ، أكثر من العناوين التى نعرفها بها ، والقاعدة البسيطة هى أن الالكترونات سوف تشغل بصورة

طبيعية مدارات الطاقة الأقل ، مفضلة ذلك على شغلها لمدارات الطاقة الأعلى . وسوف لا تقفز هذه الالكترونات الى المدارات الأعلى ، الا اذا ساعدها شيء على القيام بذلك ، كامتصاص طاقة على صورة اشعاع كهرومغناطيسي .

ويكفى ما ذكرناه هنا عن الذرات في حالة انفرادها ، لانه على الرغم من أن الذرات تعتبر أساسية ومبهرة ، فان ما يحدث للذرات عندما تصطدم وتشارك في التفاعلات الكيميائية ، يعتبر الى حد بعيد على درجة من الأهمية والصلة بالعالم المحيط بنا . وليست معظم المواد التي تحيط بنا وفي داخلنا ، ذرات فردية حرة ، بل توجد في مجموعات مترابطة . وفي الفصول الثلاثة القادمة ، يجب أن نركز اهتمامنا على القوانين الأساسية التي تحكم تفاعلات الذرات . وسوف استخدم في البداية ، التصادم بين الذرات لعرض مفهوم أساسي وثيق الصلة بشكل عام ، وهو « الانتروبيا » ؛ وبعد ذلك سيكون لدينا فسحة من الوقت لأن ننتقل الى القوانين الكامنة وراء كل التفاعلات الكيميائية التي تجعلنا وتجعل عالمنا يعمل .

الانتروپيا

ENTROPY

كلما استمتعت بفناء حرارة الشمس ، فانت مستدق بظاهرة تجعل الكون يعمل . فانت تستغل ميل الطاقة للتشتت من أماكن تتركز فيها ، الى أماكن توجد فيها بصورة أقل ، متحركة طوال الوقت نحو توزيع أكثر استواء على الأجمال . فتشتت الطاقة هو القوة المحركة الرئيسية الباعثة على كل تغير ، ويحدث بصورة أوتوماتيكية وحتمية حيثما وجدت الطاقة الفرصة للتشتت . ويكشف هذا الفصل عن هذا التشتت في أحد المواقف البسيطة جداً ، ليميط اللثام عن سبب حدوثه ويشجعك للبحث عنه في قلب كل المواقف الأخرى التي يحدث بها التغير .

تخيل أنك تمسك بقضيب طويل من الحديد ، والذي يعتبر شيئاً بسيطاً جداً بالاصطلاح الكيميائي ، لأنه لا يتكون إلا من ذرات حديد في حالة حركة . وتتحرك ذرات الحديد بشكل سريع مثل كل جسيمات المادة ، وتصطدم مع بعضها البعض وترتد وتتدافع بصورة أكبر عندما تشترك في تصادمات أخرى . فالحديد على الرغم من أنه يبدو صلباً ولا يزال ، لكنه ملء بالحركة الهولوية .

أحد طرفي قضيب الحديد أكثر سخونة من الطرف الآخر ، لأنه سحب توا من قلب فرن ، وعلى ذلك فانت تحرص على الإمساك بالقضيب من طرفه البارد ؛ لكنك تعرف تماماً ما سيحدث : سوف تبدأ الحرارة في الانتشار خلال القضيب الى أن يصل بعض منها للطرف الذي تمسك به . وكلنا يعرف أن الحرارة تنساب من الأجسام الساخنة الى الأجسام الباردة ، أو من المناطق الساخنة الى المناطق الباردة ، لكننا يجب أن نفكر في السبب الذي يجعلها تسلك هذا السلوك .

فعندما نقول أن أحد طرفي القضيب الحديدي أسخن من الطرف الآخر ، فهذا يعنى فى حقيقة الأمر أن الذرات الموجودة فى طرف القضيب الساخن تتحرك بصورة أسرع ، أو بمعنى آخر بطاقة حركية أكبر من الذرات الموجودة فى الطرف البارد . وتنسب « حرارة » أى جسم إلى مقدار السرعة التى تتحرك بها جسيماته . ويخبرنا التعريف العلمى للحرارة ، بأنها مقياس لمتوسط الطاقة الحركية للجسيمات فى جسم معين ، الذى يعتمد على كتلة الجسيمات بالإضافة إلى سرعة حركتها . غير أن ذرات الحديد جميعها الموجودة فى القضيب لها نفس الكتلة ، لذلك فإى اختلاف فى الحرارة بين أحد طرفي القضيب والطرف الآخر يجب أن يكون راجعاً كلية للاختلاف بين السرعة المتوسطة للذرات فى طرفي القضيب .

ومع ذلك ، تحدث تصادمات بصورة مستمرة بين الذرات المتجاورة خلال القضيب ، وتعتبر التصادمات المسبب الرئيسى فى إعادة توزيع الطاقة . ولادراك ذلك ، دعنا نفكر فى حالة كرة بلياردو متحركة ، على سبيل المثال — تصطدم بكرة ثابتة . سوف تتوقع بعد التصادم أن تتحرك كلا الكرتين ، وهذه هى الحالة بالفعل دائماً بخلاف الحالة الخاصة ، التى يمكن فيها لضربة مواجهة كاملة أن توقف تماماً حركة الكرة المتحركة ، وتدفع الكرة الثابتة للتحرك . وليست معظم التصادمات مثل هذه الحالة الخاصة ، لكنها ضربات خاطفة ينتج عنها تحرك كلا الكرتين . وما يحدث هو أن الكرة المتحركة تتباطأ بعض الشيء لأن بعضاً من طاقتها الحركية قد انتقل إلى الكرة الثابتة عند بداية التصادم ، فجعلتها تشرع فى الحركة . فالطاقة لم تفقد أو تكتسب على الإجمال خلال التصادم ، لكنها توزعت بصورة أخرى ، وبشكل أكثر استواء . وفى البدء ، كانت لأحدى الكرات كل الطاقة الحركية ، ولكن نتيجة التصادم ، أصبحت الطاقة مشاركة بين الكرتين بصورة متساوية . وهذا هو القانون العام للطاقة والتصادم : عندما يصطدم جسمان متحركان ، يعاد توزيع طاقتيهما بطريقة ما بحيث أن الأجسام التى كانت لها فى البداية معظم الطاقة ، يحدث لها فقد فى الطاقة ، والأجسام التى كانت فى الأصل لها القدر الأقل من الطاقة ، يحدث لها بسبب التصادم كسب مزيد من الطاقة ، وتصبح الطاقة الكلية مشاركة أو منتشرة بشكل أكثر استواء بين الأجسام المتصادمة .

والآن دعنا نعد إلى قضيب الحديد الذى مازلت تهسكه بيديك . ومن الواضح أن التصادم بين الذرات سريعة الحركة جداً فى الطرف

الساخن من القضيب ، وجارتها بطيئة الحركة نسبياً ، سينشأ عنه بعض الطاقة الحرارية ، أو بعض الحركة بمعنى آخر ، تنتشر على طول القضيب تجاه الطرف الذي تمسك به . ويحسب هذا لأن التصادمات التي جعلت الطاقة الحرارية تنتقل في هذا الاتجاه ، أكثر احتمالاً من التصادمات التي جعلت الطاقة الحرارية تنتقل إلى الاتجاه الآخر . ولكي نوضح هذه المسألة بصورة أخرى ، فهناك العديد من الفرص لأن تتحرك الطاقة الحرارية تجاه الطرف البارد ، أكثر من فرص تحركها - نحو الاتجاه الآخر ، وهذا أساساً ، هو السبب في انتشار الحرارة خلال طول القضيب كله . وهذا لا يعني أن التصادمات التي تسبب انتشار الطاقة الحرارية في اتجاه الطرف الساخن لم تحدث ، لكنها أقل احتمالاً من التصادمات التي تنشر الحرارة في الاتجاه الآخر ، وذلك لأن الذرات في الطرف الساخن من القضيب ، هي في المتوسط تتحرك بسرعة أكبر من الذرات الموجودة في الطرف البارد .

فهنا قد أصبح لديك كنه القوة الباعثة على التغير ، ألا وهو انتشار الطاقة : تميل الطاقة إلى الانتشار نحو توزيع أكثر استواء ، وذلك لأن هناك فرصاً أكبر لأن تفعل ذلك ، أكثر من الفرص المتاحة لأن تصبح مرتكزة في مناطق أكثر من مناطق أخرى . وقد تبدو هذه العبارة أطول مما تحوى من مضمون ، لكنها تصف في حقيقة الأمر القوة الدافعة لكل التغير الذي يحدث في الكون . فكل شيء يحدث ، بدءاً من احتراق النجوم ودوران الأرض والرياح والمطر إلى حركة العضلات التي تجعلك واقفاً في وضع منتصب والعمليات الكيميائية التي تحدث في مخك ، والتي تجعلك تفكر في كل هذا ، كل ذلك يحدث لأنها مدفوعة بانتشار الطاقة نحو توزيع أكثر استواء بشكل عام .

إن ما نكتشفه تسوا. يصرف عليمياً بالقاتسون الثاني للديناميكا الحرارية ، والذي على الرغم من أنه يأخذ ترتيباً ثالثاً بعد القانون الأول الشهير (قانون حفظ الطاقة) ، إلا أنه يعتبر من أكثر القوانين الفيزيائية أهمية . وبعبارة أكثر اصطلاحية ، يصف كيف تتزايد ظاهرة تعرف بالـ « إنتروپيا Entropy » للكون بصورة حتمية . ويمكن تعريف الإنتروپيا تعريفاً رسمياً من خلال عدة طرق ، ويمكن أن تسبب جميعها بعض الבלهلة عندما نتعرف عليها لأول مرة . إلا أن القانون الثاني ينص على ما يلي : « تنتشر طاقة الكون في أي تغير تلقائي ، نحو توزيع أكثر استواء على الأجمال » . واتجاه تزايد « الإنتروپيا » ، هو اتجاه

تشتت الطاقة . وتعتبر « الزيادة في الانتروبيا » هذه السبب في جعل الأشياء الساخنة تبرد ، وجعل الأشياء الباردة تسخن . وهي السبب في أن الشمس تجعلك تشعر بالدفء ، والغطس في البحر يجعلك تشعر بالانتعاش والبرودة . وهي السبب في جعل مكعبات الثلج تنصهر في المشروبات الساخنة ، لكنها لا تكون وتنمو نجاة داخل كوب من الشاي الساخن .

ويصف عدد كبير من الافتتاحيات التمهيدية لموضوع الانتروبيا ، بأنها قياس لاضطراب موجود في نظام . وهذا يسمح للقانون الثاني للديناميكا الحرارية بأن يعرف بأنه الميل المحتوم للكون لأن يصبح أكثر اضطرابا على الأجمال بمعنى الزمن . وهذا الوصف غير الدقيق نوعا ما للقانون الثاني ، يمكن أن يكون متقنا اتقانا ، إذا أخذنا في الاعتبار الطرق التي تتوزع بها الطاقة داخل نظام . وعندما يحدث هذا ، فإنه يصبح واضحا مرة أخرى أن الانتروبيا المتزايدة تناظر تشتت في الطاقة نحو توزيع أكثر استواء على الأجمال .

ويستمر نشاط الكون بقوة دفع « التشتت » لأنه في كون نشأ من جسيمات متحركة بشكل هولي ، يوجد دائما المزيد من الطرق لأن تصبح الطاقة مشتتة خلال الجسيمات ، بدلا من أن تتركز في مجموعات صغيرة منها . ويسترشد التغير الطبيعي بالتنافس بين احتمالات تشتت الطاقة وتركيزها ، حيث يفوز التشتت دائما على الأجمال ، لأنه يوجد المزيد من الطرق العديدة التي تجعله يفوز .

الفصل الحادى عشر

التفاعلات

REACTIONS

عندما نريد أن نستكشف الطبيعة الحقيقية للعالم ، يتحتم علينا أن نشق طريقنا خلال تسلسل هرمى التعقيد . فالأشياء الصغيرة والظواهر البسيطة تتحد لتكون ما هو أكبر وأكثر تعقداً ، ثم تعود لتتحد لتزداد كبراً وتعقداً ؛ وهلم جرا ، الى أن يتولد منها أكثر الأشياء تنوعاً وتعقداً ، الا وهى الكائنات الحية ، والتى تمثل ذروة تطورها . وقد درسنا حتى الآن المستويين الأولين من ذلك الهرم : الأول : الظواهر الأساسية للفيزياء والجسيمات التى تصنعها ، والثانى : الاثنان والتسعون نوعاً من ذرات العالم الطبيعى ، التى تتكون من البروتونات والنيوترونات والالكترونات بمصفوفات متنوعة . وسوف نتسلك صاعدين نحو قمة التسلسل — نحن البشر — عندما ننتقل الى الفصل الثالث عشر والرابع عشر والخامس عشر ؛ ولكن عند المستوى التالى بدءاً من الذرات نجد انفجاراً مفاجئاً فى التسلسل ظاهراً للعسيان : يتمثل فى التنوع اللانهائى من المركبات الكيميائية التى تتكون عندما تتشارك الذرات فى تفاعلات كيميائية .

نحن نقوم طوال الوقت بإجراء واستغلال التفاعلات الكيميائية . وعلى سبيل المثال ، فى كل صباح استيقظ من فراشى وأضغط الزر لاشعال الغاز الذى ينساب من موقد الغاز ، فتفجر طاقة الحرارة الكهربائية تفاعلاً كيميائياً ، يتفاعل فيه الغاز ، الذى يكون غالباً من الميثان مع الأكسجين الموجود فى الهواء لتوليد مركبين كيميائيين جديدين — ثانى أكسيد الكربون والماء — بينما ينطلق قدر من الحرارة . وغالباً ما استغل الحرارة فى سلق البيض ، وهى عملية تشتمل على تفاعلات

كيميائية داخل البيضة الرقيقة السائلة ، لتحويلها الى كتلة صلبة من البياض والصفار . وبعد تناول الافطار ، أقوم بالاغتسال بنوع من المواد الكيميائية يسمى بالصابون ، والذي تتحد جزيئاته مع الفضلات الكيميائية في جسمي التي أرغب في التخلص منها ، ثم أرتدى ملابسني حينما أرغب في مغادرة المنزل الى سيارتي . وفي السيارة ، أقوم بإدارة مفتاح الاشعال ، للسماح للعمليات الكيميائية داخل بطارية السيارة بتوليد شرارة ، والتي تشعل حريقا آخر . وهذه المرة يكون الحريق سريعا — انفجاريا — حيث تتفاعل الجزيئات داخل البنزين مع اكسجين الهواء ، منتولدا غازات العادم التي تخرج من الماسورة الخاصة بها ، بالإضافة الى قوة الانفجار التي تدفع مكبس محرك السيارة لتنتقل على الطريق .

ويمكنني الاستمرار حتى نهاية الكتاب في وصف عدد لا يحصى من التفاعلات الكيميائية التي نستغلها لكي نحيا حياتنا العصرية . فنحن ندقء أنفسنا ونولد الكهرباء باستخدام كيمياء الاحتراق ، ونطعم أنفسنا باستخدام كيمياء الطبخ المعقدة ، ونكتسى بالملابس الزاهية الجميلة بفضل العمليات الصناعية الكيميائية الحديثة ، ونحاول علاج أمراضنا باستخدام كيمياء العقاقير ، والتي تمكن الانسان من تخليق العديد منها ؛ وبطبيعة الحال ففي داخل أجسامنا ، تعتمد حياتنا على التعقد المذهل للتفاعلات الكيميائية الطبيعية .

وقد سميت الكيمياء « بالعلم المركزي » ، حيث انها تشغل الموقع المتوسط بين الفيزياء والبيولوجيا ، وتشمل على العمليات الكيميائية المهمة التي تتيحها الفيزياء ، وهي المطلوبة لدعم جميع الكائنات الحية . وهي بلا شك أساسية لحياتنا ، وفي هذا الفصل والفصل التالي ، سوف نكتشف الأسس البسيطة التي ينشأ عنها تعقد الكيمياء .

تعتبر « التفاعلات الكيميائية » هي الأحداث الجوهرية داخل العمليات الكيميائية . فعندما تتفاعل مواد كيميائية ، فإن ما تتفاعل معه هو التصادمات بين الجسيمات التي تتكون منها . والجسيمات التي تصطدم وتتفاعل في الكيمياء ، ليست هي مجرد ذرات لكنها الجزيئات والأيونات أيضا ، والتي يمكن أن تشتق من الذرات ، وتشتمل جميع التفاعلات الكيميائية على اثنين أو أكثر من هذه الجسيمات المتصادمة .

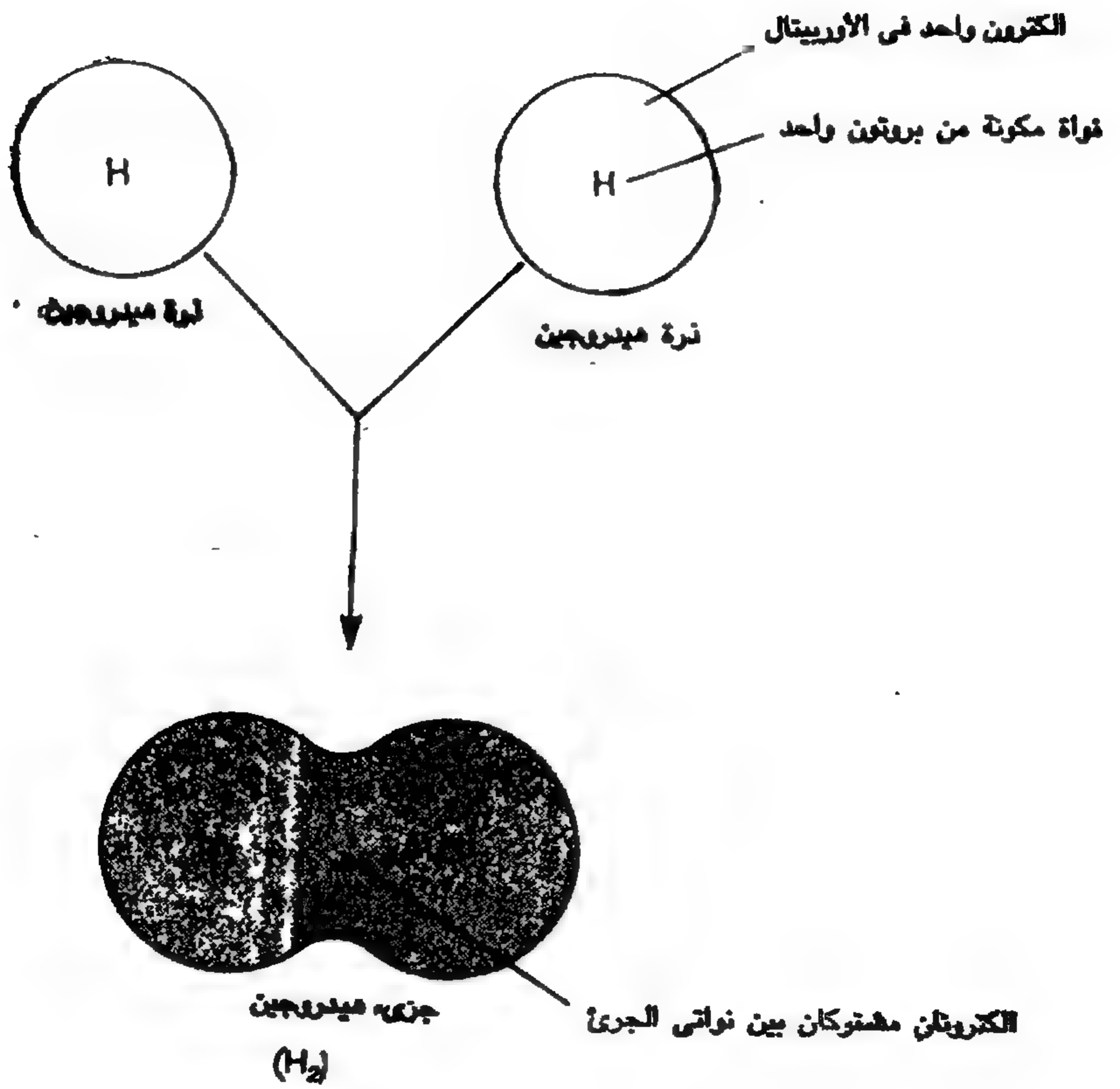
ونتم أبسط التفاعلات مع أبسط الذرات جميعا ، وهي ذرات الهيدروجين ، التي تحتوي على بروتون واحد والإلكترون واحد . فعندما

تتصادم ذرات الهيدروجين فانها غالباً ما ترتد عن بعضها البعض ، لكنها تتفاعل أحياناً لتكوين جزيء هيدروجين ، كما يظهر في الشكل ١١ - ١ . وجزيء الهيدروجين هو مجرد شكل معاد ترتيبه من ذرتين هيدروجين تختفي فيه كينونة كل ذرة منفردة لتندمجا في جزيء واحد . وتتوزع الالكترونات في هذا الجسيم الجديد بين البروتونين (بمعنى آخر بين النواتين) بدلا من أن يحيط كل الكترون بذرة واحدة فقط . وتشغل الالكترونات الموزعة حيزاً مدارياً جزيئياً يحيط بالنواتين ، بدلا من ذلك التي يحيط بنواة واحدة فقط ، وبمعبر أقل دقة ، يمكن اعتبار جزيء الهيدروجين كثرة ذات نواتين .

وكلما اتحدت ذرات من خلال المشاركة في الالكترونات نقول ان جزيئاً قد تكون بغض النظر عن عدد الذرات الموجودة وعدد الالكترونات التي اشتركت . لذا تعرف الجزيئات بأنها الجسيمات التي تماسكت فيها ذرتان أو أكثر بفرض المساهمة ببعض الالكترونات فيما بينها . ونصف تجمعات الذرات هذه بأنها تتماسك بواسطة « روابط » كيميائية بين الذرات ؛ ولكن ما السبب في وجوب تكون الروابط الكيميائية ؟ ولماذا تتحلل هذه الروابط أحياناً ؟ ما الذي يجعل التفاعلات الكيميائية ، والتي تتضمن عادة كلا من تكوين روابط وهدم روابط ، تستمر ؟

فالتفاعلات الكيميائية هي كل ما يحدث عندما تتصادم المواد الكيميائية وتدفع القوة الكهرومغناطيسية وتجذب الكتروناتها ونوياتها في ترتيبات جديدة . وعلى ذلك فالطاقة الحركية للحركة والقوة الكهرومغناطيسية هما العاملان البائدان للتغيير الكيميائي ، ولكما حين نأخذ في الاعتبار القانون الثاني للديناميكا الحرارية السابق ذكره في الفصل العاشر ، يتحتم علينا البحث عن تشتت الطاقة ، كمتحكم في اتجاه هذا التغيير .

وبنظرة فاحصة أكثر الى أبسط التفاعلات ، المكون لأبسط الجزيئات الممكنة ، والتي تتماسك ببعضها البعض بأبسط الروابط الممكنة ، نتخيل ذرتي هيدروجين تقتربان في طريقتهما للتصادم . فعندما تقتربان ، تبدأ قوى التجاذب والتنافر الكهربى بين الذرات في الظهور . وتنشأ قوة تجاذب بين الكترون كل ذرة ونواة الذرة (بروتون واحد في هذه الحالة) المقترية منها ؛ لكن الالكترونين في كلا الذرتين يتنافران ، كما تتنافر النواتان أيضاً . وعندما يحدث التصادم بين الذرات ويجلب معه طاقات وفي اتجاهات تؤدي لتغلب القوة الطاردة ، ترتد الذرات بفعل الصدام ؛ الا ان بعض التصادمات قد تتم بطريقة تحقق الفوز لسيادة القوى



شكل (١١ - ١) تكوين جزيء هيدروجين

الجانبية ، يبدأ بعدها إعادة ترتيب كامل للإلكترونات ، لتكون تركيباً متحدداً له طاقة أقل من تلك الذرات المنفصلة . فالتركيب ذو الطاقة الأقل ، هو ذلك التركيب الذى تشترك فيه النواتين فى الكترونين ، مما يؤدى الى اتحاد الذرتين برابطة كيميائية .

وعلى ذلك ، ماذا يحدث للطاقة المتبقية نتيجة لاستقرار الذرات فى ترتيبها الجزيئى الجديد ؟ بالطبع لا يمكنها أن تختفى ، لذا فهى تنتقل الى مكان آخر . فالبعض منها قد يفقد فى صورة اشعاع كهرومغناطيسى ، ينبعث عندما تهبط الإلكترونات من مدارات الطاقة العالية ، التى دفعت اليها خلال التصادم ، الى مدارات الطاقة الأدنى فى الحالة الجزيئية المستقرة . وقد تطلق العديد من التفاعلات الكيميائية ضوءاً نتيجة انفجار خلال الهبوط المشار اليه .

ويمكن أن تختزن الطاقة المفقودة نتيجة إعادة الترتيب الإلكتروني للتفاعل لفترة من الوقت داخل نواتج التفاعل ، مثل جزيء هيدروجين ، فى صورة نبضات داخلية للجزيء الجديد . فالروابط الكيميائية قريبة الشبه بالزنبرك ، بحيث يمكن لذرتى جزيء الهيدروجين أن يتذبذبا متقاربين أو متباعدين ، فسان تباعدا ، كان ذلك ضد قوة الشد التى تربط الجزيء ببعضه ؛ وان تقاربا ، كان ذلك ضد قوة التنافر الكهربائية بينهما ، وفى كلتا الحالتين ترداد الطاقة عن الطاقة الأدنى التى يحاول الجزيء استعادتها ، فيتحول التباعد الى تقارب أو العكس ، وتختزن بعض الطاقة خلال العملية ، بالضبط كما تختزن فى زنبرك فى حالة من الانضغاط والتمدد .

غير أن طاقة التذبذب هذه لا يمكن أن تستمر للأبد ، فسرعان ما تتلاشى مشتتة فى البيئة المحيطة بها ، نتيجة للتصادمات بين جزيء الهيدروجين الجديد والجسيمات الأخرى الموجودة للوصول الى توزيع متساو للطاقة ، على ما قدمنا فى فصل الانتروبيا .

وعلى ذلك ، فسرعان ما يتشتت فرق الطاقة بين الحالة الذرية الحرة لذرتى الهيدروجين والحالة الجزيئية المتحدة ، فى صورة طاقة حركية لجميع الجسيمات المحيطة ، مما ينتج عنه أن يظل الجزيء فى حالته هذه ، حيث يعز عليه استعادة الطاقة التى تعيده الى حالته الأولى . وقد تم هذا التفاعل الكيميائى نتيجة حركة الذرتين التى جعلتهما يتصادمان ، والقوة الكهرومغناطيسية التى أعادت توزيع تركيبهما ؛ وتشتت الطاقة — القوة الدليلية الأساسية لكل تغير — والذى ضمن استقرار المكون الجديد .

وهناك تفاعل بسيط آخر ، لكنه معقد بعض الشيء يحدث عندما يتكون الماء من خليط من غازات الهيدروجين والأكسجين . ويعتبر هذا تفاعلا انفجاريا — وهو من نوع التفاعل الذى يكون مصحوبا بقدر هائل من الطاقة فى فترة وجيزة ، تدفع الجزيئات والغازات المنضغطة فى عنف ، لدرجة أنه يمكن أن تنطلق به مركبات الفضاء نحو مداراتها .

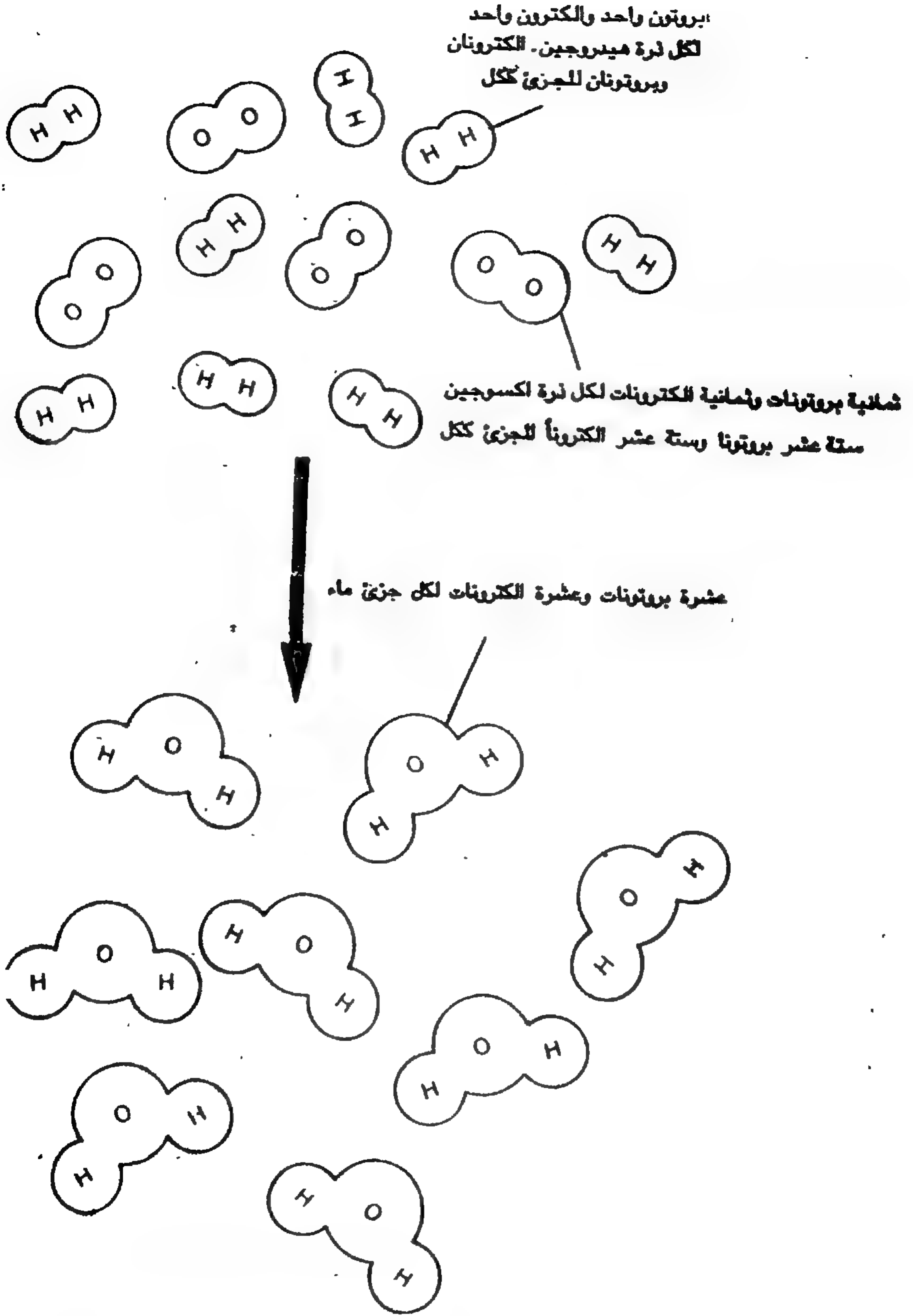
يحتوى غاز الأكسجين على جزيئات الأكسجين ، الذى يتكون كل منها من ذرتى أكسجين (ولذلك يرمز له بالرمز الكيميائى O_2) تتماسكان بواسطة الالكترونات التساهمية (انظر شكل ١١ — ٢) . وتحتوى كل ذرة أكسجين على ثمانية الكترونات (وبالمطبع ثمانية بروتونات داخل نواتها) ، وعلى ذلك يوجد بجزء الأكسجين ستة عشر الكترونا . ويتكون غاز الهيدروجين من جزيئات الهيدروجين H_2 ويحتوى كل جزء على ذرتى هيدروجين مرتبطتين ببعضهما البعض بواسطة الالكترونات التساهمية . الا أن كل ذرة هيدروجين تحتوى على الكترون واحد فقط (وبروتون واحد) ، بحيث لا يوجد الا الكترونان اثنان فقط فى جزء الهيدروجين . وجزيئات الماء التى تتكون من تصادم وتفاعل جزيئات الأكسجين والهيدروجين ، تتكون من ذرة أكسجين مركزية مرتبطة بذرتين هيدروجين (انظر شكل ١١ — ٢) ، وتكون الصيغة الكيميائية لجزء الماء H_2O

ويتضمن التفاعل الذى يحدث بين الهيدروجين والأكسجين لتكوين جزء الماء اعادة تنظيم رئيسية للالكترونات ، ذلك التنظيم المعاد الذى يستهل بالرفع المبذول للطاقة الداخلية للجزيئات ، قبل السماح لها بالسقوط الى ترتيب الطاقة الأدنى المعاد والجديد للماء . وهذا يعنى أنه لى يحدث التفاعل ، يجب أن يكون التصادم بين جزيئات الأكسجين والهيدروجين تصادما عنيفا جدا ، شىء يمكن الوصول اليه عن طريق تسخين بعض الجزيئات منها بواسطة لهب أو شعلة فى خليط صغير من الأكسجين والهيدروجين . ويكفى قدر صغير من اللهب لاطلاق الطاقة ، وعندما تتكون الجزيئات القليلة الأولى من الماء فان الطاقة المنبعثة من التفاعل تعمل على حفز المزيد من الذرات على التفاعل ، وهو ما يؤدى الى التفاعل الانفجارى الذى سرعان ما ينتشر خلال الخليط بسرعة تبدو لنا وكأنها لحظية . ولا تعتبر هذه السرعة لحظية بالنسبة للعالم الدقيق بطبيعة الحال ، فهى تعتبر بالفعل بالغة التعقد ، إذ تتضمن الكثير من المراحل المتوسطة والشظيات غير المستقرة من الجزيئات ، ولكن على الاجمال ، ينتج عنها اعادة تنظيم دقيق ومنسق

للالكترونات التي يمكن وصفها في سهولة تامة . فكل ذرة اكسجين تشارك بالكتروناتها ذرتي هيدروجين ، وكل ذرة هيدروجين تشارك بالكتروناتها ذرة اكسجين وذرة هيدروجين أخرى . والشحنة الكهربائية الموجبة الكلية (أي العدد الكلي للبروتونات) التي تحملها النوى الثلاثة في جزيء الماء تكون $1 + 1 + 8 = 10$ ، بينما يكون العدد الكلي للشحنة السالبة (أي العدد الكلي للالكترونات) هو أيضا $1 + 1 + 8 = 10$. وعلى ذلك يعتبر جزيء الماء ، مثل كل الجزيئات متعادلا كهربيا على الاجمال ، وتعتبر الكتروناته وانويته في ترتيب طاقة أدنى إلى حد بعيد عن الوضع الذي كانت عليه قبل التفاعل .

وقد قابلنا حتى الآن ثلاثة أمثلة للروابط الكيميائية : الروابط التي تربط ذرات الهيدروجين ببعضها البعض في جزيء الهيدروجين ، والروابط التي تربط ذرات الأكسجين ببعضها البعض في جزيء الأكسجين والروابط التي تربط ذرات الأكسجين والهيدروجين ببعضها البعض في جزيء الماء . وجميع هذه الروابط هي في حقيقة الأمر نتيجة المشاركة في الالكترونات بين نوى الذرات المختلفة . وتعرف الروابط التي تربط بين الذرات ببعضها البعض بواسطة المشاركة الالكترونية بـ « الروابط التساهمية » Covalent Bonds ، لكن هناك اختلافاً مهماً بين الروابط التساهمية التي تربط بين جزيئات الأكسجين أو الهيدروجين ببعضها البعض والروابط التي تربط بين جزيئات الماء . ففي جزيء الهيدروجين ، تكون المساهمة بعدد متساو من الالكترونات ، حيث تحمل كلا الذرتين نفس القدر من الشحنة الموجبة : $1 +$. وأقصد « بالتساهم المتساوي » أن الغلاف الالكتروني المحيط بالنواتين متماثل تماماً ، وليس منحازاً لنواة دون الأخرى . ونفس الشيء بالنسبة لجزيء الأكسجين ، كل ذرة اكسجين متساوية في الشحنة الموجبة بالأخرى ، $8 +$ ، وعلى ذلك تتوزع الالكترونات بصورة متساوية بينها .

غير أنه في جزيء الماء ، تتوزع الالكترونات التي تمسك الجزيء ببعضه البعض بين نواة اكسجين ذات شحنة $8 +$ ونواتي هيدروجين شحنة كل منهما $1 +$ ، وينتج عن ذلك أن تتجاذب الالكترونات بصورة أقوى نحو نواة الأكسجين عنها نحو نواتي الهيدروجين ، وعلى ذلك فالمدارات المشغولة بالالكترونات التساهمية ، ليست متماثلة ، لكنها منحازة تجاه نواة الأكسجين . وهذا يعني أن الجزيء يحمل شحنة سالبة قليلا حول ذرة الأكسجين ، حيث أن هذه المنطقة من الجزيء لها مساهمة أكبر من الالكترونات التساهمية ، في حين توجد مناطق من الشحنة الموجبة قليلا حول ذرات الهيدروجين ، والتي تعتبر الكتروناتها



شكل (١١ - ٢) لتحد جزيئات الاكسجين مع جزيئات الهيدروجين لتكون جزيئات

مسروقة الى حد ما بواسطة نواة الأكسجين . هذه الشحنات الطفيفة أو الجزيئية ، يرمز لها بشحنات $(\delta+)$ $(\delta-)$ للتمييز بينها وبين الشحنات السالبة والموجبة التي يرمز اليها بـ $+$ و $-$.

وتعرف الروابط التساهمية التي تشتمل على تساهم غير متساو للالكترونات، مثل روابط جزيء الماء بالترابط التساهمي القطبي Polar covalent حيث يسبب عدم التوزيع المتساوي للالكترونات ، استقطاباً للشحنة الكهربائية في قطب سالب الشحنة قليلاً $(\delta-)$ قطب موجب الشحنة قليلاً $(\delta+)$ ومن الواضح أن مقدار الاستقطاب يعتمد على الفرق بين القوة الجاذبية للالكترونات في النويات المستخدمة . وتعرف القوة الجاذبة لنواة ذرية للالكترونات عندما تستخدم ذرتها في رابطة تساهمية « بالسالبية الكهربائية Electronegativity » للذرة .

وتعتبر السالبية الكهربائية واحدة من المفاهيم الأساسية في الكيمياء ، ومن ثم فهي تستحق المزيد من الإيضاح . فيمكن النظر الى كل الكيمياء على أنها تنافس بين أنوية الذرات على الالكترونات المنجذبة اليها بقوة . وعندما يبدأ التفاعل الكيميائي ، تحاول النوى الذرية داخل المواد الكيميائية حسم التنافس لصالحها باكتساب أكبر قدر ممكن من الالكترونات المتاحة . وفي بعض الحالات ينتهي الحال بالذرات الى المشاركة بالالكترونات بصورة متساوية في الروابط التساهمية ؛ وفي حالات أخرى تساهم الذرات بالالكترونات بصورة غير متساوية في الروابط القطبية ؛ بينما يحدث في بعض الأحيان أن تفوز بعض الذرات بالالكترونات بالكامل، وتفقد ذرات أخرى الكتروناتها بالكامل ، لتكوين نوع آخر من الروابط يعرف بالروابط الأيونية Ionic Bonds ، التي سأتناقشها لاحقاً .

ويعتمد تفوق الذرة في المنافسة على الالكترونات على مقدار قوة نواتها في جذبها اليها . وتعتمد قوة الجذب هذه بدورها على عاملين : عدد البروتونات ذات الشحنة الموجبة الموجودة بالنواة (العدد الذري طبقاً للجدول الدوري) ؛ وهو عامل ايجابي في التنافس ، فكلما زادت الشحنة الموجبة ، زادت قوة جذب النواة للالكترونات (السالبة) . أما العامل الثاني فهو عدد الأغلفة المحيطة بالنواة ، وهو عامل سلبي ، لأن هذه الأغلفة ممتلئة بالالكترونات (عدا الداخلة في التفاعل) ، وهي إذ تتنافر مع الالكترونات التي عليها التنافس يكون دورها أشبه بـ « ستارة حاجبة » تعاكس النواة في جذبها للالكترونات . والسالبية الكهربائية لذرة ما هي المقياس الكمي لمدى قدرتها على جذب الالكترونات نحوها —

ويعنى آخر ، هى عدد يعطى قيمته قياساً لقوة جذب الإلكترون ، ويتضمن حاصل التأثيرين المتضادين المذكورين .

وتوجد معظم الذرات ذات الشحنة الكهربائية السالبة بالجهة اليمنى العليا من أعلى الجدول الدورى (انظر الفصل التاسع الشكل ٩ - ١) ، بينما توجد الذرات ذات الشحنة الكهربائية السالبة الأدنى (والذى تسمى أحيانا بالذرات ذات الشحنة الكهربائية الموجبة الأعظم) فى نهاية الجدول جهة اليسار ؛ وبصفة عامة كلما تباعدت أية ذرتين فى الجدول الدورى ، تعاظم الفرق فى سالبيتهما الكهربائية . ويعنى ذلك أن ذرات العناصر المتقاربة فى الجدول الدورى تميل نحو الارتباط فى روابط تساهمية استقطابية ، عندما تتحد فى مركبات كيميائية . ولما كانت متقاربة من بعضها البعض ، فإن سالبيتها الكهربائية ، ستكون متقاربة الى حد ما ، وبذلك تساهم بالالكترونات ، على الرغم من أنها تكون غير متساوية بعض الشيء فى انحيازها نحو الذرة ذات الشحنة الكهربائية السالبة العظمى . الا أن ذرات العناصر المتباعدة عن بعضها البعض فى الجدول الدورى ، غالبا ما تساهم بنوع آخر من الروابط تعرف بالروابط الأيونية . وتتكون هذه الروابط عندما يكون الفرق فى السالبية الكهربائية من الكبر بحيث يتسبب فى أن تتخلى إحدى الذرات عن الكترون أو أكثر تماما ، وتقتصه الأخرى تماما لنفسها . وسوف ندرس هذه الروابط الأيونية الآن ، بعد التأكيد مرة أخرى على الأهمية الكبيرة للسالبية الكهربائية فى مجال الكيمياء . وتوضح السالبية الكهربائية لذرة ، مقامها فى المنافسة الكبرى على الالكترونات التى تقع فى صميم كل تغير كيميائى ، وهى تجعلنا نتفهم نتائج كل من المنافسات الفردية على الالكترونات ، التى نسميها بالتفاعلات الكيميائية ، وتتيح لنا التنبؤ بالنتائج المحتملة للتفاعلات التى لم نلاحظها بعد .

وكما قلت ، فعندما يكون الفرق بين السالبية الكهربائية للذرات عظيما ، فإن بعضا من الالكترونات تنتزع بالكامل من إحدى الذرات وتنتقل الى الذرة الأخرى ، والتفاعلات التى تتضمن نقل الالكترونات تخلق جسيمات ذات شحنة كهربائية ، تسمى « بالأيونات » ، وهى تتماسك مع بعضها البعض بواسطة « روابط أيونية » . والمادة الكيميائية البسيطة المعروفة بكلوريد الصوديوم ، والتى تسمى بمالح الطعام ، الذى نثره فوق الطعام ، ستستخدم كمثال مناسب للمركب الأيونى المتماسك من خلال هذه الروابط الأيونية .

لنأخذ فى الاعتبار ذرة صوديوم وذرة كلور ، يظهران فى صورة بسيطة جدا فى شكل ١١ - ٣ . فعندما يتم تفاعل بين هذين العنصرين ،

« تهب » ذرة صوديوم الكترونا لذرة كلور ، كما هو مبين بالشكل . وهذا يخلق موقفا جديدا ، تتحول فيه ذرة الصوديوم الى جسيم لم يعد متعادلا كهربيا ، وبمعنى آخر الى أيون . فشحنته النووية + ١١ مقابل ١٠ الكترونات فقط بدلا من الأحد عشر الكترونا الأصلية ، وتصبح شحنته الكلية مقدارها + ويسمى أيون الصوديوم (يرمز له بالرمز Na +) أما ذرة الكلور الأصلية فقد تحولت أيضا الى أيون ، يسمى بأيون الكلور ، أيون سالب Cl⁻ بما اكتسب من الكترون اضافى سالب الشحنة . وتتجذب الأيونات Na⁺ و Cl⁻ نحو بعضهما البعض بصورة قوية بواسطة القوة الكهرومغناطيسية ،

ولذا بمجرد ان تتكون فانها تتحرك مع بعضها البعض وتصبح « ملتصقة » باحداها الأخرى بما يعرف بالرابطة الأيونية . هذه الرابطة هي في الأساس مجرد قوة التجاذب بين الأيونات الموجبة والأيونات السالبة .

واذا أمكنك ان تدنو الى مستوى الأيونات الموجودة في حبة ملح ، فسوف ترى شبكة ثلاثية ممتدة الأبعاد من أيونات الكلور والصوديوم ، تتماسك جميعها بالروابط الأيونية في مصفوفة منتظمة تعرف بـ « الشبكة الأيونية ionic lattice » . ولا توجد جزيئات في هذه شبكة ، حيث ان الجزيئات هي جسيمات متعادلة كهربيا ، تتماسك فيها اثنان أو أكثر من الذرات مع بعضها البعض بواسطة الروابط التساهمية (بما فيها الروابط التساهمية الاستقطابية) ، ولا توجد ذرات حرة ، أيضا لأن الذرات متعادلة كهربيا . وبدلا من ذلك ، لا توجد سوى أيونات ، النوع الثالث والأخير الأساسي من الجسيمات الموجودة في الكيمياء ، والتي هي في الواقع ذرات فقدت أو اكتسبت الكترونات ، وتترك بشحنة كهربية كلية . وعلى ذلك ، فـجسيمات الكيمياء هي : الذرات والجزيئات والأيونات ؛ ويتكون كل منها من جسيمات دون ذرية ، هي البروتونات والنيوترونات والالكترونات .

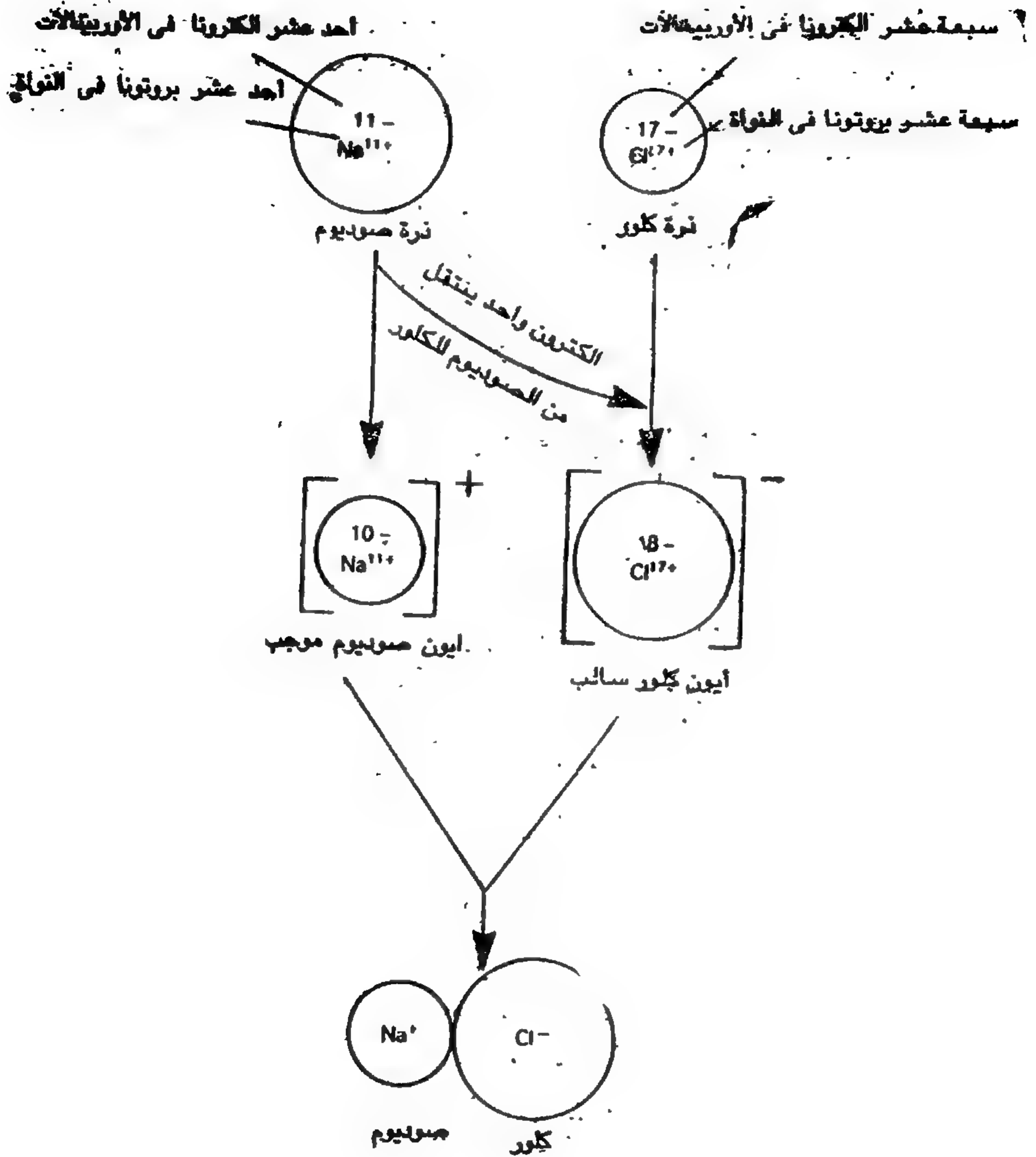
وبما أننا تعرفنا على الرابطة الأيونية ، فقد نتساءل ما السبب في بقائها ، ومن الآن فقد يحتمل أن تتوقع أن الاجابة كامنة في الطاقة وتشقتها . فالحالة الأخيرة في شكل (١١ - ٣) ، والتي يتجاور فيها أيونا الصوديوم والكلور في وئام ، تعتبر في حالة من الطاقة أدنى مما كانت عليه والذرتان طليقتان قبل التفاعل . وسوف تتبدد الطاقة المتبقية عن الترابط الأيوني بصورة طبيعية في البيئة المحيطة ، تاركة ذرتي الصوديوم والكلور أسيرتي الرابطة الأيونية الجديدة . وعلى ذلك ، فالتفاعلات التي تولد الأيونات والروابط الأيونية ، يكتب لمنتجاتها البقاء لنفس

الأسهل مثل التفاعلات التي تتولد عنها الجزيئات والروابط التساهمية — لأن الطاقة الفائضة بعد الترابط تنتشر متبددة في الكون .

وقد تحمل الأيونات شحنات مضاعفة مثل $+2$ ، -2 ، أو $+3$ أو -3 ، بحسب عدد الإلكترونات الداخلة في « الصفة » . وتتجمع هذه الأيونات المشحونة في شبكات تتماسك مع بعضها البعض بواسطة الروابط الأيونية ، كما بينا في مثال الكلور والصوديوم . إلا أنه توجد صورة أخرى من التفاعلات ، تتكون فيها ما يسمى بـ « الأيونات الجزيئية Ionic Molecules » أو « الأيونات المركبة Compound Molecules » وهي تتكون من عديد من الذرات مترابطة بروابط تساهمية ، لكنها تحمل شحنات كهربية موجبة أو سالبة على الأجمال . والأمثلة الشائعة على ذلك ، أيونات الأمونيوم $+NH_3$ الذي ترتبط فيه ذرة نيتروجين مركزية برابطة تساهمية بأربعة ذرات هيدروجين ، ويحمل المركب ككل شحنة موجبة واحدة ؛ وأيونات الكربونات CO_3^{2-} المتكونة من ذرة كربون مرتبطة تساهمياً بثلاث ذرات أكسجين ، وجميعها بشحنة -2 على الأجمال . مثل هذه الأيونات المعقدة تتجمع أيضاً في شبكات أيونية .

لقد قابلنا حتى الآن الأنواع الثلاثة من الروابط القوية ، التي تربط الأيونات والذرات ببعضها البعض ، لتعطي الأشياء المحيطة بنا الانطباع بالقوة والصلابة . وهذه هي الروابط التساهمية الخالصة والروابط التساهمية الاستقطابية التي تتكون عن طريق الإلكترونات التساهمية بين الذرات (وتسمى هاتان الرابطتان بشكل عام بالروابط التساهمية ، أخذاً في الاعتبار بأن الرابطة التساهمية الخاصة لا تكون إلا بين ذرات نفس العنصر) ؛ والروابط الأيونية التي تربط بين الأيونات التي تحمل شحنات كهربية مختلفة . وبالطبع ، في جميع الحالات ، فإن القوة الأساسية المسؤولة عن ربط الذرات والأيونات في تجمعات كبيرة هي القوة الكهرومغناطيسية التي بها تتجاذب الشحنات المختلفة وتتنافر المتشابهة . إلا أن هناك أنواعاً أخرى قليلة من الروابط سوف نعرض لها ، قبل أن نرى المنظومة الكاملة من « المواد اللاصقة » المتاحة في عالم الكيمياء . من ذلك الرابطة بين ذرات المعادن ، وبعض الروابط الأخرى الضعيفة للغاية التي توجد بين الذرات والجزيئات .

وتعرف غالبية العناصر الموجودة على يسار الجدول الدوري ، بالفلزات . وينبنى تصنيف العناصر إلى فلزات وأشياء فلزات ولا فلزات على عدة خصائص . واحد أهم هذه الخصائص المميزة ، هي ميل الإلكترون أو أكثر من الغلاف الخارجي لذرات الفلزات إلى الهروب من هذه الذرات لتتجول حرة داخل العنصر من ذرة إلى ذرة ، لدرجة أن بناء أي فلز يتكون في الأساس من مصقوفة من أيونات فلزية مشحونة



شكل (١١ - ٢) تتفاعل ذرات الصوديوم والكلور لتكوين كلوريد الصوديوم ، وتتماسك مع بعضها البعض بواسطة رابطة أيونية (يوجد الكلور عادة في صورة جزيئات كل ٢ بينما استخدمنا الذرة للسهولة هنا بغرض التبسيط ، وعندما يتفاعل الصوديوم مع جزيئات كل ٢ تعطي كل ذرة صوديوم الكترون الى كل ذرة من ذرات الكلور ، وعلى ذلك تكون القوى المتفاعلة ونتائج التفاعل واحدة .

شحنة كهربية ، محاطة ببحر من الإلكترونات المتحركة (٢) . ويفسر هذا البحر الإلكتروني داخل بناء الفلزات ، استعداد هذه الفلزات لتوصيل الكهرباء بسهولة . فالتيار الكهربى ، هو عبارة عن سيل من الإلكترونات ينتقل تحت تأثير الضغط الكهربى ، والبحر الإلكتروني داخل الفلزات ، كالحديد والألمنيوم وغيرهما من الموصلات الكهربائية زائداً بالإلكترونات الحرة ، التى يمكن أن تحدث هذا التيار .

ويعمل البحر الإلكتروني داخل الفلز أيضاً كمادة لاصقة لتربط بها أجزاء المعدن . فالإلكترونات الحرة تجذب الأيونات الموجبة ، فتربط بينها وتعطي المعدن تماسكه المعروف . وتعرف هذه الظاهرة بالترابط المعدنى *Metallic Bounding* ، حيث أنها تعمل على ربط الجسيمات من الفلز فى تركيب متماسك .

وتعتبر الروابط التساهمة والأيونية والمعدنية روابط قوية ، وبمعنى آخر ، روابط لا يمكن أن تنقسم إلا بإدخال طاقة وفيرة . إلا أن هناك العديد من الروابط الكيميائية الأكثر ضعفاً ولكنها أكثر خفاءً ، تتمثل بصفة عامة فى قوة تجاذب ضعيفة بين ذرات منفردة وجزيئات . وبالرغم من ضعفها النسبى ، بل فى الحقيقة غالباً بسبب هذا الضعف ، الذى يجعلها على استعداد للانقسام والتشكل مرة أخرى ، فهى من أهم الروابط المؤثرة على الإطلاق . وعلى ذلك سوف نوليها ما تستحقه من الاهتمام .

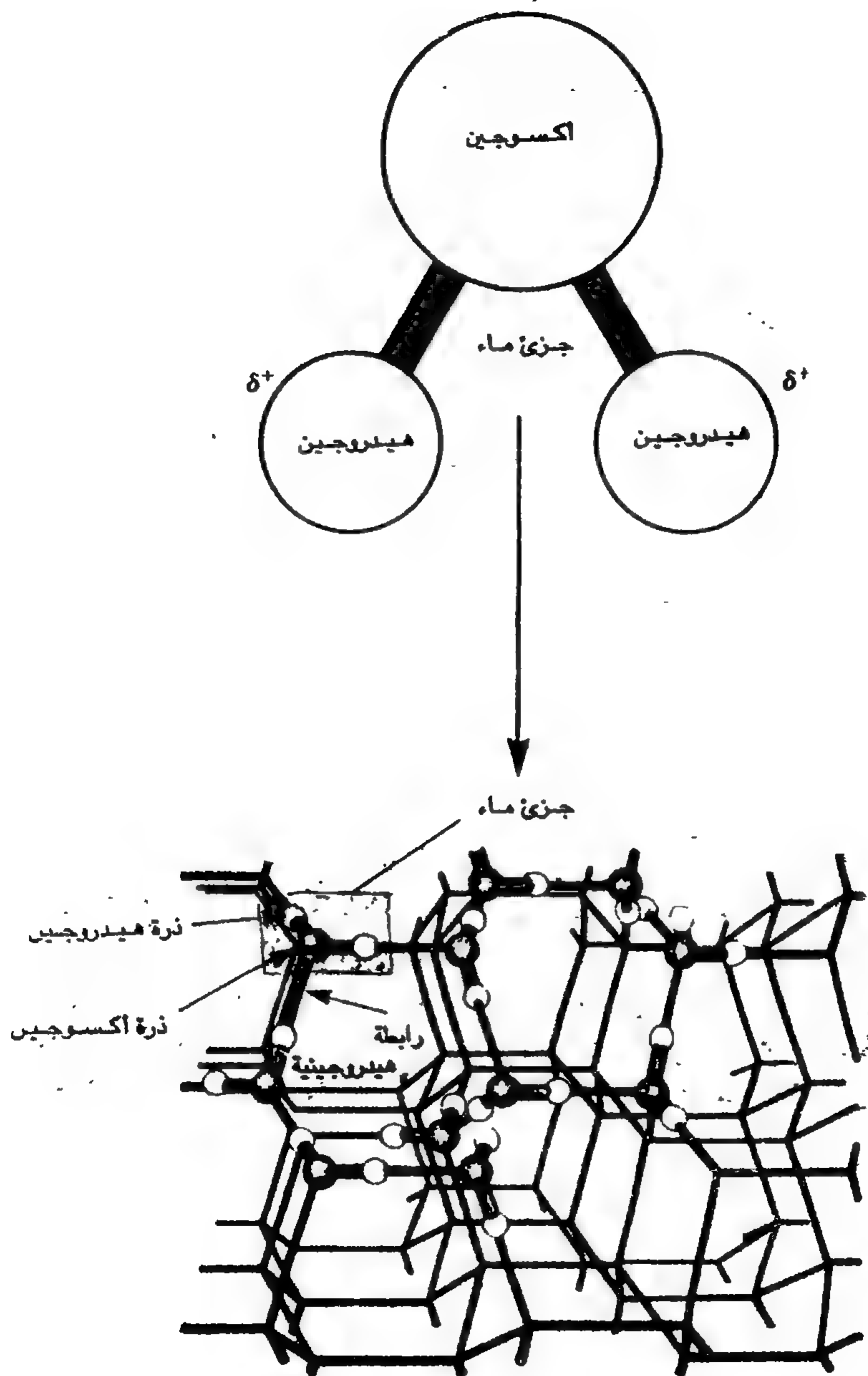
وقد رأينا كيف تنجذب أيونات حاملة شحنة موجبة كاملة وإيونات تحمل شحنة سالبة كاملة نحو بعضها البعض فى رابطة أيونية . وتحمل العديد من المواد الكيميائية شحنات كهربية جزئية مصاحبة لروابط تساهمية استقطابية ، ويمكن أن تعمل هذه المناطق ذات الشحنة الجزئية على ربط الجزيئات المختلفة ببعضها البعض وتعملها فى مركب غير متين الأواصر . وتقدم جزيئات الماء واحداً من أفضل الأمثلة (انظر الشكل ١١ - ٤) . وتذكر أن ذرات الهيدروجين فى جزيء من الماء تحمل شحنة δ^+ بينما تحمل ذرة الأكسجين شحنة δ^- بسبب أن الرابطة بين ذرات الأكسجين والهيدروجين هى من النوع التساهمى الاستقطابى . وكما يظهر من شكل ١١ - ٤ ، فإن هذا يجعل القوى الكهربائية تجذب جزيئات الماء فى شبكة ذات ترابط خفيف ، تتماسك فيها جميع ذرات الهيدروجين مع ذرات الأكسجين . وبمعنى آخر توجد قوة تجاذب بين جزيئات الماء المتجاورة ، وتعرف هذه القوة بالرابطة الهيدروجينية

Hydrogen Bond ، نتيجة للدور الأساسي لفرات الهيدروجين في ربط جزيئات الماء ببعضها البعض . وهذه القوة الجذبية ضعيفة جداً بالمقارنة بالروابط الكاملة الأخرى ، وعلى ذلك فالشكل الشبيه بالقفص (شكل ١١ - ٤) ، يمكن تمزيقه بسهولة عن طريق ادخال بعض من الطاقة الحرارية . وتمتد هذه الروابط الى مناطق كبيرة من الماء في حالة تجمده ، ولكن حتى في زجاجة ماء في درجة حرارة الغرفة ، سوف تكون هناك مناطق صغيرة من هذا التركيب الشبيه بالقفص ، وتعرض جزيئات الماء الى قوة جذب ضعيفة من جيرانها . وقوة الجذب هذه لها بعض التأثيرات المهمة . فعلى سبيل المثال ، فهي تجعل درجة حرارة غليان الماء ١٠٠ درجة مئوية ، بينما لولا هذه القوة ، لكانت هذه الدرجة أقل من ذلك بكثير ، وبالتالي فإن الحياة التي نعرفها لم يكن لها أن تظهر على الأرض ، فكل الماء الموجود داخل خلايا أجسامنا ، كان سيفلّ ويتحول الى غاز . وعلى ذلك ، فبالرغم من ضعف هذه القوى « بين الجزيئية » ، إلا أنها في غاية الأهمية .

وتوجد أيضاً قوى جذبية أضعف بين جميع الذرات وجميع الجزيئات، التي تعرف بقوى فان درفالس Van Der Waals Force أو روابط فان درفالس Van der Waals bonds ولكي نفهم مصدر هذه القوى ، يجب أن ندرك أن مناطق الشحنة الموجبة الطفيفة جداً ومناطق الشحنة السالبة الطفيفة جداً ، تظهر وتختفي على الدوام على سطح أي مادة كيميائية . فهي تعتبر كما لو كانت الحركة العشوائية من جميع الإلكترونات تخلق وتدمر لحظياً وبصورة مستمرة مناطق تجمع للإلكترونات . وعندما يحدث أن تكون هذه المناطق ذات الشحنة الموجبة الطفيفة مناطق مقابلة من الشحنة السالبة الطفيفة في الجزيئات المجاورة ، فإن المنطقتين ستجذبان ، وتميلان للاتصاق .

وعلى ذلك ، فهناك قوى ضعيفة جداً من نوع فان درفالس تعمل بين جميع الذرات والجزيئات المتجاورة ، تميل الى ضم الجيران بعضها الى بعض برفق ، إلا إذا اكتسحتها تأثيرات أكثر قوة .

وقد قابلنا حتى الآن كل الروابط الرئيسية أو « القوى الرئيسية » في الكيمياء : الروابط الكاملة التساهمية والتساهمية الاستقطابية والأيونية ؛ وقابلنا أيضاً الروابط الأضعف التي يمكن أن تجذب الذرات والجزيئات المجاورة مع بعضها البعض بطريقة خفيفة . إلا أنه أياً كانت التفاصيل ، فإن قوة الجذب الكهرومغناطيسية بين الشحنة الكهربائية



شكل (١١ - ٤) الرابطة الهيدروجينية في الماء (لمزيد من التفاصيل ارجع الى
 "النس")

انسالبة والموجبة هو القوة المؤثرة في جميع الروابط الكيميائية .
والتفاعلات الكيميائية هي كل ما يحدث عندما تصطدم جسيمات الكيمياء
— الذرات والجزيئات والأيونات — للسماح للقوة الكهرومغناطيسية
بأن تدفع وتجذب إلكتروناتها ، هادمة بعض الروابط الموجودة ومنشئة
لأخرى . وهذا هو جوهر الكيمياء ، ولكن لا يزال هناك الكثير الذي
يجب أن يقال حول بعض تعقيداتها وخفائها . وسوف نتعامل مع بعض
من ذلك في الفصل القادم ، كيما تتكون لدينا فكرة أوضح عن طبيعة
التفاعلات الكيميائية .

الا أنه يمكننا أن نغطي إحدى السمات المهمة هنا عن التفاعلات
الكيميائية ، عندما نسترجع في عجلة نظرة أولية سريعة للكيمياء . فقد
رأينا كيف أن الهيدروجين ، ذلك الغاز المتفجر ، والأكسجين ، ذلك
الغاز الذي يساعد على الاحتراق ، يمكن أن يتفاعلا سويا لتوليد الماء ،
وهو السائل الذي يستخدم لطفاء الحريق . وقد رأينا كيف أن الصوديوم ،
الفلز الذي ينفجر إلى لهب عندما يتحد بالماء ، والكلور ، ذلك الغاز
السام ، يتفاعلان لتكوين كلوريد الصوديوم ، الذي لا نستغنى عنه في
طعامنا ! هذان المثالان يوضحان بجلاء قوة الكيمياء في تحويل خصائص
المواد الكيميائية . فعندما تتفاعل المواد الكيميائية لتتخذ صورة جديدة ،
تكون خصائص المنتجات الجديدة في الغالب مختلفة تماما عن خصائص
المواد الداخلة في التفاعل . فما يحدث أثناء أي تفاعل ، هو أن نوى
والكترونات المنتجات ، تصبح منظمة بطريقة ما ، وفي النهاية يكون
لدينا نفس نوع الذرات ، نفس الإلكترونات ونفس النوى ؛ لكن ترتيب
هذه العناصر قد تغير . والكيمياء هي دائما عملية إعادة تنظيم ، بغض
النظر عن التفاعل الكيميائي المعين المستخدم ؛ وتكمن القوة الكبيرة في
الكيمياء ، في أنها مجرد إعادة ترتيب لقطع وأجزاء المواد الكيميائية
— إلكتروناتها وأنويتها — بما يمكن أن تحول خصائصها تغييرا جذريا .

الاتزان

EQUILIBRIUM

اننا ، ونحن في مسيرتنا لاستكشاف جوهر الكيمياء ، محتاجون الى نوع جديد من الرسوم البيانية يعرف بـ « مخطط توزيع الطاقة energy profile diagram » . ويقدم شكل ١٢ - ١ أنموذجا مبسطاً يبين بطريقة تقريبية وعمومية تغيرات الطاقة التي تحدث عندما تصطدم جزيئات النتروجين N_2 مع جزيئات الهيدروجين H_2 لانتاج جزيئات الامونيا NH_3 ويعتمد استقرار البشرية على هذا التفاعل البسيط حيث يحتاج للامونيا الناتجة من التفاعل لصنع العديد من المخصبات التي تدعم اساليب الزراعة المكثفة من أجل توفير الغذاء للمواطنين . وتكمن أهمية الامونيا في احتوائها على عنصر النتروجين ، الذي يعتبر العامل الاساسي لنمو النباتات .

ويمكن تلخيص التفاعل الذي ينتج الامونيا ، من خلال كتابة معادلة كيميائية تبين ببساطة صيغة المواد الكيميائية المستخدمة (أى تمثيلها الرمزى مثل N الخ ،) والنسب التي تتفاعل بها على الاجمال . والمعادلة التي تتكون منها الامونيا من النتروجين والهيدروجين هي كالآتي :



والتي يمكن ترجمتها بالآتي : كيل جزيء نتروجين (يحتوى على ذرتي نتروجين) يتفاعل مع ثلاثة جزيئات من الهيدروجين (يحتوى كل جزيء على ذرتي هيدروجين) ، لانتاج جزيئين من الامونيا (يحتوى كل جزيء على ذرة نتروجين وثلاث ذرات هيدروجين) . ووضع التفاعل في صيغة معادلة يعتبر أكثر ايجازاً من ذكر نفس المعلومات بالكلمات ، حتى بالنسبة لهذا التفاعل البسيط . وهذا يقلل السبب في

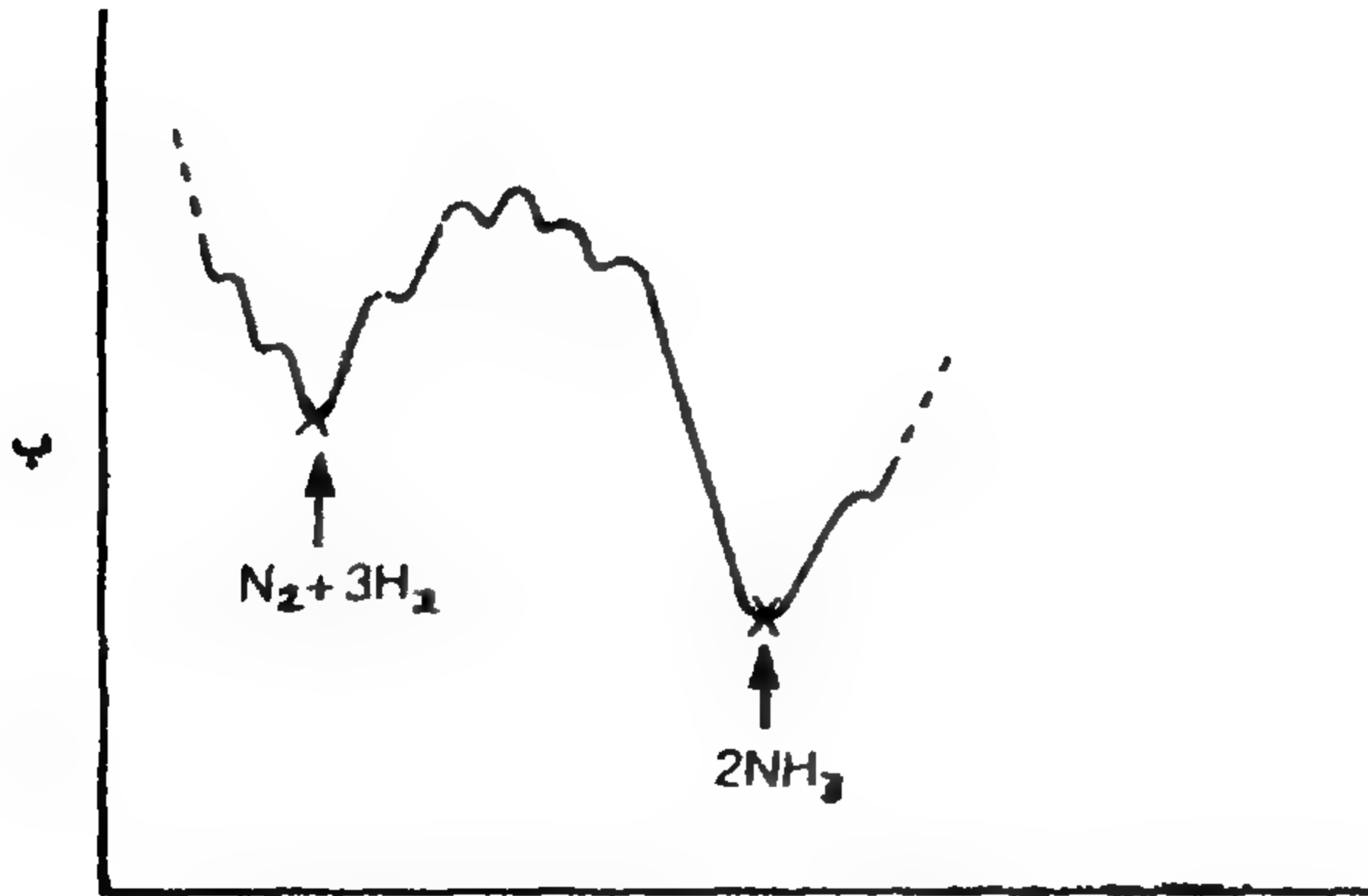
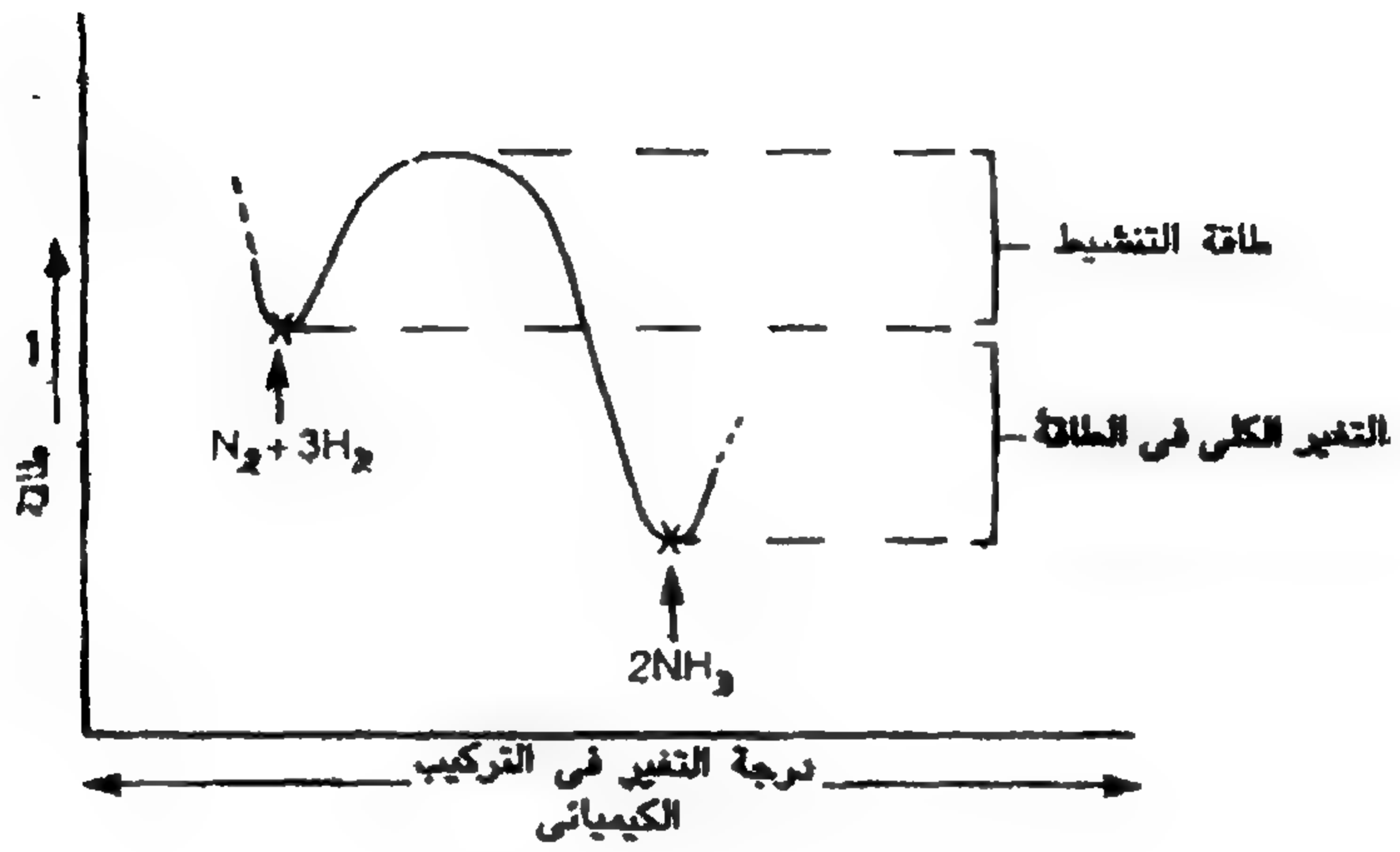
استخدام الكيميائيين المعادلات الكيميائية في وصف التفاعلات . وفي التفاعلات الأكثر تعقداً ، تحتاج ترجمة معادلة من سطر واحد إلى كلمات إلى عدة أسطر . غير أنه من المهم أن نتذكر أنه يمكن الاستعاضة عن كل المعلومات التي تعبر عنها معادلة كيميائية بكلمات عادية — فليس هناك شيء من السحر أو الغموض أو صعوبة خاصة في كتابة المعادلات الكيميائية بمجرد التعود على استخدامها ؛ فهي مجرد تمثيل مختصر للمعلومات التي يمكن صياغتها بالكلمات .

لاحظ أن هناك ذرتين من النتروجين في الطرف الأيسر من المعادلة ، الذي توضع به المواد البادئة للفاعل ، وهناك أيضاً ذرتان من النتروجين في الطرف الأيمن من المعادلة ، وهو الطرف الذي توضع به نواتج التفاعل . وهناك أيضاً عدد متساو من ذرات الهيدروجين ، ست ذرات ، في طرفي المعادلة . ويعتبر هذا التساوي أو الاتزان ضرورياً حتى تصبح المعادلة صحيحة ، لأن الذرات لا يمكن أن تخلق أو تفتنى أو تتغير إلى أنواع أخرى من الذرات أثناء إجراء التفاعل الكيميائي . وكما أشرنا ، فكل ما يحدث أثناء التفاعل ، هو أن الذرات الموجودة سيجرى ترتيبها في صورة أخرى ، حينما يجرى تغيير الروابط بينها ، نتيجة لإعادة ترتيب الإلكترونات الموجودة . وتعرف المعادلات ذات الأعداد المتساوية من كل نوع من الذرات في كل طرف من طرفي المعادلة بالمعادلات المتزنة ، وتوازن الطبيعة معادلاتها بصورة أوتوماتيكية ، (بالرغم من أن تحول أحد أنواع الذرات إلى نوع آخر يمكن أن يحدث ، ولكن السبب لا يكون من خلال تفاعل كيميائي) . ويجد الناس أحيانا بعض الصعوبة في كيفية التحقق من وزن المعادلات الكيميائية .

وبعد تلخيصنا لأساسيات المعادلات الكيميائية ، فقد حان الوقت لأن نفكر بصورة صحيحة في المخطط الذي يكون الأمونيا . . فهذا المخطط يأخذ صورة خطية بسيطة ، حيث يمثل المحور الرأسى مقياس الطاقة . وافترض أننا استطعنا أن نحسب بدقة مقدار الطاقة « الداخلية » ، أي مقدار الطاقة الوضعية والطاقة الحركية المختزنة في جزيء من النتروجين ، وثلاثة جزيئات من الهيدروجين عند درجة الحرارة المختارة . سنقوم ، بفرض التبسيط ، بتسجيل هذه القيمة على المخطط معنونة $N_2 + 3 H_2$ عند ارتفاع مناسب ، دون أن نجشتم أنفسنا تحديد قيم حقيقية على المخطط ، حيث ما يهمنا هو القيم النسبية التي تساعد في تتبع الشرح وتوضيح الفكرة . النقطة المعنونة المذكورة تمثل نقطة الطاقة الدنيا للجزيئات المنفردة ، أي قبل الدخول في التفاعل ، والتي تستقر عندها هذه الجزيئات .

والمحور الأفقى لرسمنا يعنون بـ « درجة التفسير فى التركيب الكيميائى » . وهذا يعنى أن الحركة على طول هذا المحور ، فى أى اتجاه تناظر حدوث بعض التغير فى تركيب النتروجين أو الهيدروجين أو كليهما . وهذه فكرة تقريبية وعمومية جدا ، لا تتطلب مرة أخرى أية أرقام على المحور ، إذا كان اهتمامنا منصبا بشكل عام على كيفية تغير مستوى طاقة المواد الكيميائية عندما تتغير ترتيبات الكتروناتها الطبيعية . وأضح من المنحنى المرسوم ، أن أى ترحيل عن التركيب الطبيعى للمواد الكيميائية (١) ، الذى قد يكون على صورة تقارب أو تباعد النسوى المترابطة (أى شد أو ضغط فى روابطها) ، يكون مصحوبا بارتفاع فى الطاقة . وعلى ذلك فإن قلقلة الكترونات ونوى النتروجين والهيدروجين عن ترتيباتها الطبيعية المتزنة والثابتة يتطلب قدرا من الطاقة ، ويمكن أن تأتى هذه الطاقة من التصادمات التى تحدث بين الجزيئات ، وتمثل على الرسم فى ارتفاع قيم الطاقة عن نقطة الاستقرار المبينة ، ولنسميها نقطة « الحضيض » الأولى . وفى التصادمات الهادئة نسبيا ، يكون الارتفاع عن نقطة الحضيض الأولى خفيفا ، وتشتت الطاقة التى تكتسبها الجزيئات من تلك التصادمات أولا بأول ، معيدة الجزيئات لنقطة الاستقرار على الدوام .

غير أنه يلاحظ وجود نقطتى حضيض للطاقة فى الرسم ، تناظر الأولى نقطة استقرار الجزيئات المنفردة كما قدمنا ، أما الثانية ، فتمثل نقطة الاستقرار للمركب الكيميائى ، الأمونيا ، لو قدر للجزيئات المنفردة أن تدخل فى تفاعل يكونه . ومن ثم فقد عنونت النقطة الثانية $2NH_3$ إشارة الى أنها تخص جزيء غاز الأمونيا بعد تكونه . ويمكن حث جزيئات النتروجين والهيدروجين على الدخول فى التفاعل المؤدى لهذا الترتيب ، إذا كانت التصادمات من القوة بحيث تمدها بالقدر الكافى من الطاقة لدفعها لأعلى المشوار كله نحو قمة المنحنى الموجود بالرسم . وعندما تصل الطاقة الى قمة « التل » فى المنحنى ، تصبح فى حالة غير مستقرة ، بحيث أن أقل تغير فى التركيب سيجعلها تنحدر لآى من جانبي التل ، بمعنى أنها إما أن تتجه الى نقطة الاستقرار (الحضيض) الأولى ، فتعود الى حالتها الأصلية ، كجزيئات منفردة ، أو تتجه الى نقطة الاستقرار الثانية ، أى تتحول الى جزيء من غاز الأمونيا . وبمعنى آخر ، فأننا إذا بدأنا بخليط من النتروجين والهيدروجين النقى ، ورفعنا درجة الحرارة بقدر كاف ، لضمان توفر بعض التصادمات العنيفة لدفع هذه المواد الكيميائية الى الحالة الممثلة بقمة تل الطاقة ، حينئذ سيتحتم أن تأخذ بعض الأمونيا فى التكون . وسوف نرى تفاعلا كيميائيا مستمر ، يتفاعل فيه النتروجين والهيدروجين لتكوين الأمونيا .



شكل (١٢ - ١) مخططات توزيع الطاقة لتفاعل كيميائي

ويمكن تمثيل جميع التفاعلات الكيميائية بحركة المواد الكيميائية بين نقاط الاستقرار (الحضيض) الطاقة ، كل نقطة تمثل تركيبا كيميائيا مستقرا . وتعتبر التركيبات الموجودة عند قمم تلال الطاقة تركيبات وسيطة غير مستقرة ، قد لا تدوم الا لفترة قصيرة يصبح من الصعب معها دراستها ، وفي العديد من الحالات لا يعرف الكثير عنها . والطاقة المطلوبة لرفع طاقة المواد الكيميائية حتى حالة الطاقة الوسيطة الأعلى (قمة التل) لاي تفاعل ، تسمى « بطاقة التنشيط activation energy للتفاعل ، حيث انها الطاقة المطلوبة لتنشيط التفاعل لمواد كيميائية مستقرة أصلا ، لولا امدادها بهذه الطاقة .

والفرق بين قيمة طاقة الاستقرار للمواد البادئة للتفاعل (المثلثة بنقطة الحضيض الأولى) ، وطاقة الاستقرار للمواد الناتجة عن التفاعل (المثلثة بنقطة الحضيض الثانية) من القيم ذات الغاية في الأهمية . ففى المثال المبين بالشكل ١٢ - ١١ ، يناظر تركيب نواتج التفاعل (جزيئات الأمونيا) تركيب طاقة أدنى بصورة واضحة عن تركيبات المواد البادئة ، وعلى ذلك ، فان فرق الطاقة سيبدأ فى الانتشار فى الوسط المحيط أثناء سريان هذا التفاعل .

ومن المهم ادراك ان الانبعاث الكلى للطاقة اثناء أى تفاعل كيميائى، على الرغم من أنه شائع الحدوث ، الا أنه لا يعتبر قاعدة عامة فى الكيمياء ، فقد يحدث أن تكون المواد الناتجة عن التفاعل أعلى من طاقة المواد البادئة (٢) . ويجب أن نعرض لهذه الحالات الآن ، لنرى مدى ملاءمتها لمتطلبات القانون الثانى للديناميكا الحرارية . ويمكننا القيام بذلك باستخدام التفاعل السابق نفسه ، لأن ، وهذه نقطة مهمة أخرى ، كل المواد الكيميائية ، من حيث المبدأ ، مواد يمكنها أن تعود الى حالتها الأصلية .

فمثلا يمكن أن يجرى الهيدروجين والنيتروجين تفاعلا لتكوين الأمونيا ، يمكن أن تستخدم جزيئات الأمونيا كمواد بادئة لتفاعل عكسى، والتي يمكن من خلالها تكوين الهيدروجين والنيتروجين . وكل ما هو مطلوب بالنسبة لهما ، هو امدادهما بطاقة كافية للرفع الى قمة التل المثلث للطاقة القصوى ، كما فى الشكل ١٢ - ١١ للوصول الى حالة الانتقال غير المستقرة ، التى اياها أن تنتج الأمونيا مرة أخرى ، واما أن تنتج جزيئات النيتروجين والهيدروجين . وفى هذه الحالة ، تعتبر الطاقة

التنشيطية. للتفاعل العكسي أكبر بدرجة ملحوظة من طاقة تنشيط التفاعل الأمامي ، ولكنه يمكن ، بل ويحدث ، أن تتفاعل الأمونيا لانتاج النتروجين والهيدروجين ١٠

وعلى ذلك فإذا كانت جميع التفاعلات الكيميائية قابلة للعكس ، فما الذى يحدد اتجاه أى تفاعل كيميائى ؟ والاجابة هى ميل الطاقة نحو الانتشار الى توزيع متساو ؛ لكن ذلك يحتاج الى مزيد من التفسير . افترض اننا بدأنا بخليط من النتروجين والهيدروجين ، واخترنا الظروف والضغط الذى يمكن فى ظلها أن يبدأ التفاعل الأولى . فى البداية لا توجد أمونيا ، وعلى ذلك يستحيل التفاعل العكسى . وسيستمر تكوين الأمونيا لفترة قصيرة ، مع انطلاق الطاقة أثناء العملية التى تنشأت فيها فى خليط النتروجين والهيدروجين وغازات الأمونيا . وسوف نفترض أن الخليط موجود فى وعاء محكم العزل ، بحيث لا يحتمل للحرارة أن تتبدد . وبمجرد أن تتكون بعض من الأمونيا ، يضير التفاعل العكسى ممكناً ، اذا انتشرت طاقة كافية فى جزيئات الأمونيا ، بسبب تصادمها العنيف مع الجزيئات الأخرى . وفى البداية ، قد لا يستمر التفاعل العكسى الا لفترة محدودة جداً ، لأنه لا يوجد الا القليل من جزيئات الأمونيا ، وقد لا تصطدم جزيئات الخليط بطاقة حركية كافية ؛ ومع ذلك يجرى طوال الوقت تكون المزيد من الأمونيا ، كما أن الطاقة المنطلقة من هذه العملية ترفع درجة حرارة الخليط . وكل من هذين العاملين ، الأعداد المتزايدة من جزيئات الأمونيا ، ودرجة الحرارة المتزايدة ، يزيدان من احتمالية التصادمات العنيفة التى تعطى القدر الكافى من الطاقة الى جزيئات الأمونيا لجعلها تتفاعل مكونة النتروجين والهيدروجين . ذلك فى الوقت الذى يكون فيه التفاعل الأمامى (تكوين الأمونيا) مستمرا لم يتوقف ، ولكن معدله يتناقص مع الزمن ، الى أن يصل كلا التفاعلين فى النهاية الى حالة التبادل . وفى حالة الاتزان النهائية هذه ، سيستمر كلا التفاعلين ، ولكن بمعدل ثابت لكليهما . وسيحدث استقرار كيميائى تام ، لأن طاقة النظام قد أصبحت منتشرة بصورة متساوية على قدر الامكان . فالطاقة المبددة من غازى الهيدروجين والنيتروجين لتكوين غاز الأمونيا هى نفس الطاقة التى يمتصها غاز الأمونيا ليتحلل مرة أخرى الى مكوناته الأصلية .

جميع التفاعلات قابلة للعكس ، وسوف تصل جميعا الى نقطة الاتزان ، اذا ما أخذت الوقت الكافى ، لكنه يوجد شيان مهمان ، يجب أخذهما فى الاعتبار عند تفسير هذه الحالة . أولا ، قد يستغرق أى

تفاعل وقتا طويلا جدا حتى يستقر في وضع الآتزان ، وسيظهر في اثناء هذه الفترة الطويلة انه مستمر في اتجاه واحد فقط ؛ وثانيا ، فقد تكون كميات المواد الكيميائية في كل طرف من اطراف معادلة التفاعل غير متساوية الى حد بعيد في وضع الآتزان ، بمعنى انه قد تكون نسبة كمية النواتج من التفاعل العكسي الى المواد المتكونة من التفاعل الامامي واحد لعشرة آلاف . وعلى ذلك ، فقد لا نلاحظ من الوجهة العملية غير اتجاه واحد يعتبر هو التحول الفعلي من « المواد البادئة » الى « نواتج التفاعل » ، لكن يجب ان يكون مفهوما على الدوام ان كافة العمليات الكيميائية قابلة للانعكاس ، غير ان بعض الاتجاهات العكسية قد تكون ضئيلة الاحتمال بقدر كبير .

ولهذا السبب وضعت « المواد البادئة » و « نواتج التفاعل » بين علامات التنصيص . وذلك لان المواد البادئة للتفاعل في اتجاه ما ، هي نفسها نواتج التفاعل للتفاعل في الاتجاه الآخر ، والعكس صحيح . فالمعادلة التي تؤدي لتكوين غاز الامونيا :



يمكن ان تكتب بطريقة صحيحة تماما لتعبر عن تحله كالاتى :



ويمكن ان تكتب اى من المعادلتين بصورة افضل كالاتى :



وبمعنى السهم المزدوج ان التفاعل ممكن في اى من الاتجاهين . ويعتمد الاتجاه السائد على الظروف الحقيقية ، كدرجة الحرارة والضغط الذى يحدث خلالها التفاعل ، ويمكن ضبط هذه الظروف ، لجعل اى من التفاعلين هو السائد ، يعنى انه يمكن ترتيب حالة الآتزان لتحتوى على زيادة ، اما من النتروجين والهيدروجين واما من الامونيا ، تبعا للظروف المختارة .

وعلى ذلك ، توجد نقطتان مهمتان اخريان يجب اضافتهما الى نظرتنا المتطورة عن الكيمياء : الاولى : التفاعلات الماصة للطاقة اى التى تبدأ بطاقة ، لانتاج نواتج ذات طاقة اعلى من المواد البادئة ، يمكن

أن تتحقق طالما كان ميل الطاقة للتشتت في اتجاه امتصاص المسواد البادئة لها ، بدلا من طردها ؛ والثانية : يمكن عكس جميع التفاعلات ، إلا أنه قد يكون هناك احتمالية لاتجاه أكثر من الآخر .

وعلى ذلك ، يمكننا أن نجمع أساسيات الكيمياء مع بعضها البعض في قائمة واحدة ملخصة :

● تحدث التفاعلات الكيميائية عندما تتصادم الذرات المتحركة و / أو الجزيئات و / أو الأيونات مع بعضها البعض ، لتعطى ترتيبا جديدا للإلكترونات في هذه الجسيمات .

● يمكن أن يتضمن الترتيب الجديد للإلكترون انحلال بعض الروابط الكيميائية الموجودة ، وتكوين روابط كيميائية جديدة .

● تتطلب الطاقة من أجل بدء ترتيب جديد للإلكترون ، وتخرج الطاقة في وقت لاحق ، عندما تستقر المواد الكيميائية في ترتيباتها المعتادة الجديدة على أن فرق الطاقة الكلى إما أن يخرج من التفاعل أو يمتص فيه ، ويعتمد ذلك على المواد الكيميائية المستخدمة .

● كل التفاعلات قابلة للعكس ، على الرغم من أنه في عديد من الحالات ، يكون التفاعل في اتجاه واحد هو الأكثر احتمالا من الاتجاه الآخر .

● مع استمرار التفاعل ، فإنها تفضل بصورة أوتوماتيكية الاتجاه الذى يؤدي إلى تشتت متزايد لطاقة الكون نحو توزيع أكثر تساويا .

● التفاعلات الكيميائية ، هي كل ما يحدث للمواد الكيميائية عندما تجبر ، بواسطة الانتشار الأوتوماتيكي للطاقة نحو توزيع أكثر تساويا ، لضبط مستويات طاقتها إلى مستويات تتوافق مع طاقة البيئة المحيطة بها .

ويمكن وصف هذه القائمة بأنها جوهر الكيمياء الحقيقى ، ولكن بطبيعة الحال ، عند استخلاص الجوهر ، نضطر لاستبعاد الكثير من التعقيدات والخفايا . ودعنى أقوم ببعض التنقيحات لبعض فواقد الاستخلاص ، قبل أن تنتقل إلى اختبار العمليات الكيميائية للحياة في الفصل الثالث عشر .

إن مخطط توزيع للطاقة مثل شكل ١٢ - ١١ ، يعطى وجهة نظر غلية في التبسيط لوصف سريان التفاعلات الكيميائية . فهو يوحى لنا بأن التفاعل الذى تتكون منه الأمونيا يبدأ بواسطة تصادم لحظى لأحد جزيئات النتروجين وثلاثة جزيئات من الهيدروجين ، لانتاج مركب وسيط واحد على الطاقة ، يحتسوى على ذرتى نتروجين وست ذرات هيدروجين ، ينتهى بعد ذلك الى جزيئين من الأمونيا . ومن المؤكد أن الحالة ليست كذلك . ففى المقام الاول ، فالتصادم الآتى للجزيئات الأربعة بعيد الاحتمال الى حد بعيد ، والأكثر احتمالا هو أن تكون الخطوة الحاسمة لبدء التفاعل هى تصادم بين جزيء نتروجين واحد وجزيء هيدروجين واحد ، وهو ما يولد المركب الوسيط الأولى ، والذى سوف يتفاعل بعد ذلك مرة أخرى ، من خلال عدد كبير من الخطوات المختلفة . والتفاعلات الكيميائية التى يمكن تلخيصها على الاجمال من خلال معادلات دقيقة ، عادة ما تجرى بطريقة معتدة تدريجية ، تشمل العديد من المركبات الوسيطة غير المستقرة والعالية الطاقة . ويمكن توضيح ذلك بطريقة تقريبية بواسطة مخطط مثل شكل ١٢ - ١١ ب ، الذى يبين العديد من المستويات الدنيا من الطاقة تتغير صعودا وهبوطا بينهما المنحنى يسير فى شكله العام ، وتمثل كل حالة دنيا من الطاقة مركبا وسيطا ذا فترة حياة وجيزة .

كما يوحى شكل ١٢ - ١١ ايضا ، أن هناك طريقتين فقط يمكن من خلالها تغيير تركيب أية مادة كيميائية ، مناظرتين للحركة يسارا أو يميننا على المحور الأفقى . أما الحالة الواقعية للتفاعل فتتطلب رسمها مجسما ذا أبعاد ثلاثة ، يمثل التغير فيه كحركة على المستوى (وليس الخط) الأفقى بين قمم تلال وقيعان ، ويمثل قاع كل منخفض فيه حالة مستقرة لمركب ما . أما القمم فتمثل الحالة غير المستقرة للمركبات الوسيطة سريعة الزوال . ويبدو من الواضح فى هذا المنظر الطبيعى الثلاثى الأبعاد ، أن الطرق المختلفة التى يمكن من خلالها أن يتغير تركيب مادة كيميائية أكثر تعقيدا مما تم عرضه فى الرسم المبسط . وحتى هذا المنظر الطبيعى ، هو مجرد تمثيل أو نموذج للموقف الحقيقى ، لكنه يمكن أن يعطينا انطبعا جيدا عن تغيرات الطاقة المستخدمة فى التفاعلات الكيميائية ، والقيود الواقعة على هذا التغير .

ويشمل التعقيد الأخير الذى سنأخذه فى الاعتبار ، الظاهرة المعروفة بالتحفيز Catalysis لتفاعلات المواد الكيميائية . فالعديد من التفاعلات ، ومنها التفاعل المنتج للأمونيا الذى اخترناه مثلا ، يجرى بطريقة أكثر بطئا ، عندما تترك المواد المتفاعلة على حريرتها . ويمكن تعجيل جميع التفاعلات

تقريباً ، عن طريق اضافة بعض المواد الكيميائية الأخرى ، التى تعمل كمواد حفازة Catalyst للتفاعل ، فالمادة الحفازة ، هى مادة تُعجل التفاعل ، بينما لا يطرأ عليها أى تغيير على الإطلاق . وتحدث المواد الحافزة تأثيراتها عن طريق فتح طرق جديدة ، أو آليات تتبعها التفاعلات ، تشمل على قدر أقل للطاقة التنشيطية . ولما كانت أية مادة حافزة تخفض من طاقة التنشيط للتفاعل ، فإن هذا يعنى أن نسباً أكبر من المواد المتفاعلة سوف يكون بها طاقة حركية كافية من أجل التفاعل عندما تتصادم ، ومن ثم سيستمر التفاعل بطريقة أسرع مما لو تم بدون المادة الحافزة .

وتعتبر المواد الحافزة مهمة لجعل معظم التفاعلات التى تستغلها الصناعة الكيميائية تعمل بطريقة فعالة واقتصادية . فالمادة الحافزة من برادة الحديد ، المختلطة بكميات صغيرة من مواد كيميائية أخرى ، تجعل تصنيع الأمونيا يتم بصورة اقتصادية لصناعة المخصبات . كما تستخدم حافزات من فلز الراديوم والبلاتين فى بعض السيارات من أجل تنقية العادم ، بتحويل المنتجات الضارة بصحة الإنسان من الوقود غير المحترق ، مثل أول أكسيد الكربون وأكاسيد النتروجين ، الى مواد كيميائية أقل اضراراً للصحة مثل ثانى أكسيد الكربون والماء والنتروجين . أما المحفزات الطبيعية ، والتى تحفز التفاعلات الكيميائية داخل أجسامنا ، والتى تجعلنا على قيد الحياة ، فتسمى بالانزيمات ، لكن هذا هو موضوع الفصل القادم .

وعالم الكيمياء مليء بالعديد من التفاصيل الأخرى والتعقيدات التى تشغل مجلدات ضخمة فى أرفف المكتبات ؛ إلا أن جوهر كل هذا التعقيد فى غاية البساطة ، كما أوضحنا فى القائمة التلخيصية فى هذا الفصل . وتذكر أن كل الدفع والجذب والترتيبات المعادة للالكترونات والنوى ، التى تحدث عند اجراء العمليات الكيميائية ، هى نتيجة القوة الكهرومغناطيسية التى تعمل على اجبار الجسيمات ذات الشحنة المتشابهة بالابتعاد عن بعضها البعض ، وتعمل على جذب الجسيمات مختلفة الشحنة لبعضها البعض ؛ وتذكر أيضاً أن التغيرات الكيميائية تعطى اتجاهها على الاجمال ، بسبب ميل طاقة المواد الكيميائية نحو التشتت الى توزيع أكثر استواء .

وعلى ذلك فالكيمياء هى رقصة عنيفة للجسيمات ، فيها ينجذب بعض الراقصين نحو بعضهم البعض ، فى حين يجبر آخرون على الابتعاد ، بينما طاقة الرقص تدور كالدوامة متحدية هذه القوى التنظيمية ، كلما اشتدت نشوة الرقص بالراقصين !

الفصل الثالث عشر

الحياة

LIFE

تعد الحياة ظاهرة من ظواهر أمانة الطبيعة التي لدينا رغبة حمية لفهم طبيعتها ؛ ومع ذلك فلا يوجد من يفهمها فهما كاملا ، لأن أكبر سمة للحياة هو العقل الواعي الموجود بداخل كل جمجمة بشرية ؛ ولم يعرف أحد كيف خلق هذا العقل واستدام ، أو حتى ما كنهه . غير أنه يعرف قدر كبير عن الآليات الداخلية للكائنات الحية ، تلك الآليات التي تساعد على استمرار الخلايا التي تكون الأعضاء مثل قلبك وريئتيك ، والمخ الذي يخلق بطريقة ما أو على الأقل يحافظ على أفكارك الواعية . والسمة الأساسية للآليات الداخلية للحياة ذات طبيعة كيميائية . فالكائنات الحية تبدو كآلات كيميائية معقدة بصورة مذهشة . ويجب أن اتوخى الحرس هنا ؛ فقد يكون هناك ما هو أكثر من « مجرد كيمياء » بالنسبة لنا ، خصوصا وأن منشأ وعينا وأفكارنا لا يزال غامضا ؛ في حين أن كل ما اكتشفه بداخلنا حتى الآن ليس غير آلية كيميائية ، وفي هذا الفصل ، سوف نلقى نظرة على العناصر الرئيسية لهذه الآلية ، لنكتشف كيف تجعلنا وتجعل كل الكائنات الحية الأخرى تعيش .

وعندما ننظر إلى كائن حي معقد مثل إنسان أو حيوان أو نبات ، فسرمان ما يتكشف أنه يتكون من العديد من الوحدات الحية الأصغر ، التي تسمى « خلايا Cells » . فالخلية الحية هي الوحدة الأساسية للحياة . وأبسط الأشياء الحية هي الخلايا المنفردة ، في حين أن أعقد الأشياء الحية هي تجمعات من أعداد هائلة من الخلايا . لذا فالاختلافات بين الكائنات الحية المختلفة ، يعود إلى اختلافات في أنواع وأعداد الخلايا التي تحتوي عليها . وتعتبر الأميبيات نوعا معروفا من الكائنات

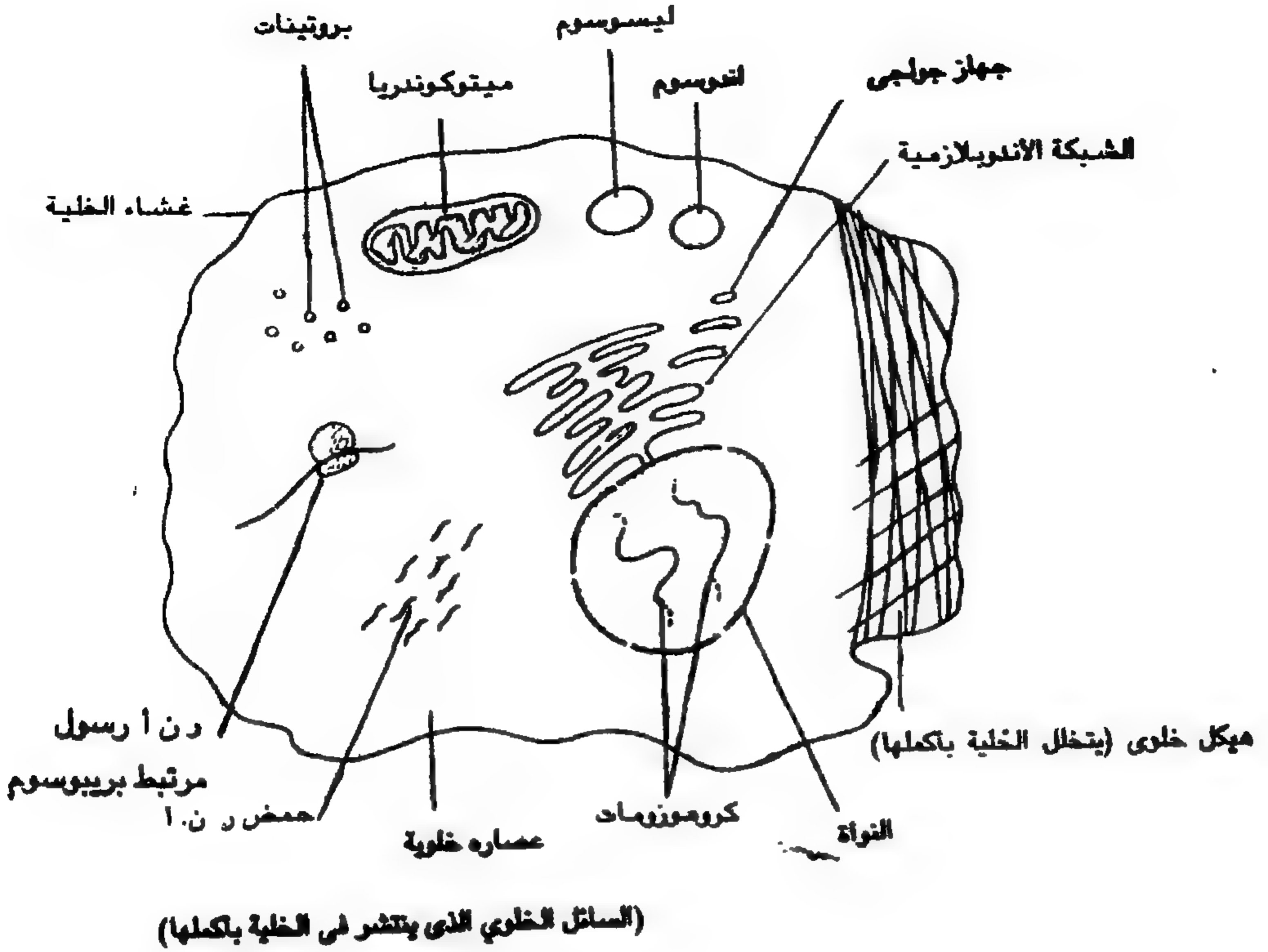
التي تتكون من خلية واحدة تعيش معيشة حرة ، والتي لا تقوم بشيء آخر سوى الحركة من مكان لآخر ، تتناول الغذاء وتستخدمه في النمو ، وبعد ذلك تتضاعف بالانقسام ، ويعتبر الانسان تجمعا ضخما من الخلايا ، يبلغ مقدارها حوالي عشرة تريليون خلية ، وتوجد من هذه الخلايا انواع عديدة مختلفة ، يتخصص كل منها في القيام بوظائف مختلفة ؛ ويتيح تفاعل هذه الخلايا للانسان بأن يفكر ويتحدث ويعي وجوده .

وعلى الرغم من أن الخلايا يمكنها أن تختلف اختلافا كبيرا من حيث شكلها العام وما تقوم به من وظائف ، إلا أنها تشترك جميعها في جوهر مشترك من السمات الأساسية التي تجعلها تعمل بصورة متناغمة . ويوضح شكل ١٣ - ١ هذه السمات (١) ، من خلال استخدام خلية من الكائنات العضوية الراقية ، مثل خلايانا ، على سبيل المثال . وأبسط هذه الخلايا جميعا هي خلايا ما يسمى « بالكائنات العضوية الدنيا » ، مثل البكتيريا ، ولكن بالرغم من أن لها تركيبا مختلفا قليلا (اذ تفتقد إلى وجود نواة ، على سبيل المثال) ، تعتبر الكيمياء الأساسية التي تجعلها تعمل ، كيمياء مشابهة تماما . ومن الجدير بالذكر أن كل الأشياء الموضحة بالشكل ١٣ - ١ ، والتي نقول شرحها هي مواد كيميائية (أو تجمعات من المواد الكيميائية المختلفة) ، تتكون من ذرات و / أو جزيئات و / أو أيونات . وعلى ذلك تحدث التغيرات والتفاعلات التي سنألفها ، لأنها في الأساس تفاعلات كيميائية يدفعها ميل الطاقة للتشتت خلال الكون .

وتحاط جميع الخلايا بغشاء Membrane خلوي رقيق ، يتكون من مواد كيميائية ، يهزل محتويات الخلية عن العالم الخارجي ، مع السماح بمرور اختيارى لبعض المواد الكيميائية إلى داخل وخارج الخلية ، أما داخل الخلية نفسها فمعبأة عن « وسط مائي » يعرف بالعصارة الخلوية ، أو السيتوبلازم Cytosol . وتوجد كيمياء الحياة داخل الوسط المائي ، لأنه قد يحتمل أن تكون الحياة الأولى نشأت وتطورت في ذلك الحين داخل البيئات المائية عن سطح الأرض .

ويوجد بداخل خلايا الكائنات الراقية أغشية أخرى ، تفصل بعض مناطق الخلية إلى « خلايا داخل خلايا » ، والتي تعرف بـ « العضيات Organelles » (٢) . . . وتعتبر نواة الخلية أهم هذه الجسيمات المحاطة بالأغشية والموجودة في كل كائن حي . ونجد في النواة الموجودة في قلب

الحياة



شكل (١ : ١٣)

منظر تخطيطي مكبر للسمات المهمة في خلية حيوانية

الخلية الحية الكنز الدفين في قلب كل الحياة - تلك المادة الكيميائية المعروفة بالـ د.ن.أ. (الحمض الريبي النووي المنقوص الأكسجين) D.N.A. الذي يحتوي تركيبة الداخلي على تلك الأشياء التي نسميها « جينات Genes » . وكما يعرف كثير من الناس ، تعتبر الجينات العوامل الكيميائية للوراثة . فهي التي تجعل الخلايا المختلفة مختلفة ، ومن ثم تجعل الأشخاص المختلفين مختلفين ، وهي التي تجعل نسل البكتين الحي يشابه آباءه . فالجينات تجعل الفئران الوليدة تشبه آبويها وتجعل البشر يشبهون آباءهم . وتعتبر الجينات مناطق متميزة بالفعل ، تتكون من جزيئات رفيعة وطويلة بصورة عجيبة من د.ن.أ. وتحتوي بعض الكائنات الحية ، مثل البكتيريا ، على جزيء واحد رئيسي من الـ د.ن.أ. ، بينما تحتوي خلايانا على ستة وأربعين جزيئا ضخما

من الـ ١.٠ د.ن. وتمرز كل من هذه الجزيئات مع بعضها البعض بأنواع عديدة من الجزيئات البروتينية (والتي سنشرحها فيما بعد) لتكون التركيبات المعروفة بالكروموسومات Chromosomes . ويحتوي ١.٠ د.ن. في كل من كروموسوماتنا على عدة آلاف من الجينات ، ويوجد بداخل الجسم البشري مائة ألف جين على الاجمال .

وأهمية الجينات بالمعنى الوصفى والاجمالى هى كالاتى : يسمح لها تركيبها الكيميائى الدقيق بطريقة غير مباشرة بأن تتحكم فى التفاعلات الكيميائية التى تنشئ كائنات حيا من مواد أولية غير حية ؛ ويسمح لها تركيبها أيضا بأن تنسخ ، لتولد نسخا جديدة مطلوبة لكى تنشأ منها أجيال جديدة من الحياة . ويعبر عن ذلك أحيانا بالقول بأن الجينات تحمل « المعلومات الجينية » المطلوبة لخلق الحياة . ويمكن اعتبار أن هذه « المعلومات » عبارة عن « تعليمات » مطلوبة لتوليد أعداد معينة من فئة أخرى من مواد كيميائية تعرف بالبروتينات ، وتكمن الأهمية الحقيقية للجينات فى أنها تسمح بتصنيع جزيئات بروتينية معينة داخل أية خلية . غير أن هذه المصطلحات ، مثل « المعلومات الوراثية » و « التعليمات » ، يجب ألا تؤخذ بمعناها الحرفى ، فكل ما يحدث فى الواقع هو أن العديد من المواد الكيميائية تتفاعل بطرق معينة ، وتعطى فى النهاية الظاهرة الكيميائية التى نسميها الحياة .

وبالتغاضى عن بعض الاستثناءات والتعقيدات حاليا ، يمكننى القول أن الجين الواحد وهو قطاع من جزيء ١.٠ د.ن. ، يستطيع أن يولد جزيئا بروتينيا معيناً . وتعرف المجموعة الكاملة من الجينات المتجسدة داخل خلية ١.٠ د.ن. بـ « جينوم الخلية Cell's genome (٣) » ، ويعتقد أنه يوجد داخل كل خلية من خلايانا البشرية ، ما مجموعه ١٠٠٠٠ جين ، وبمعنى آخر ، فإن الجينوم للإنسان ، يناظر جينوم إحدى خلايا .

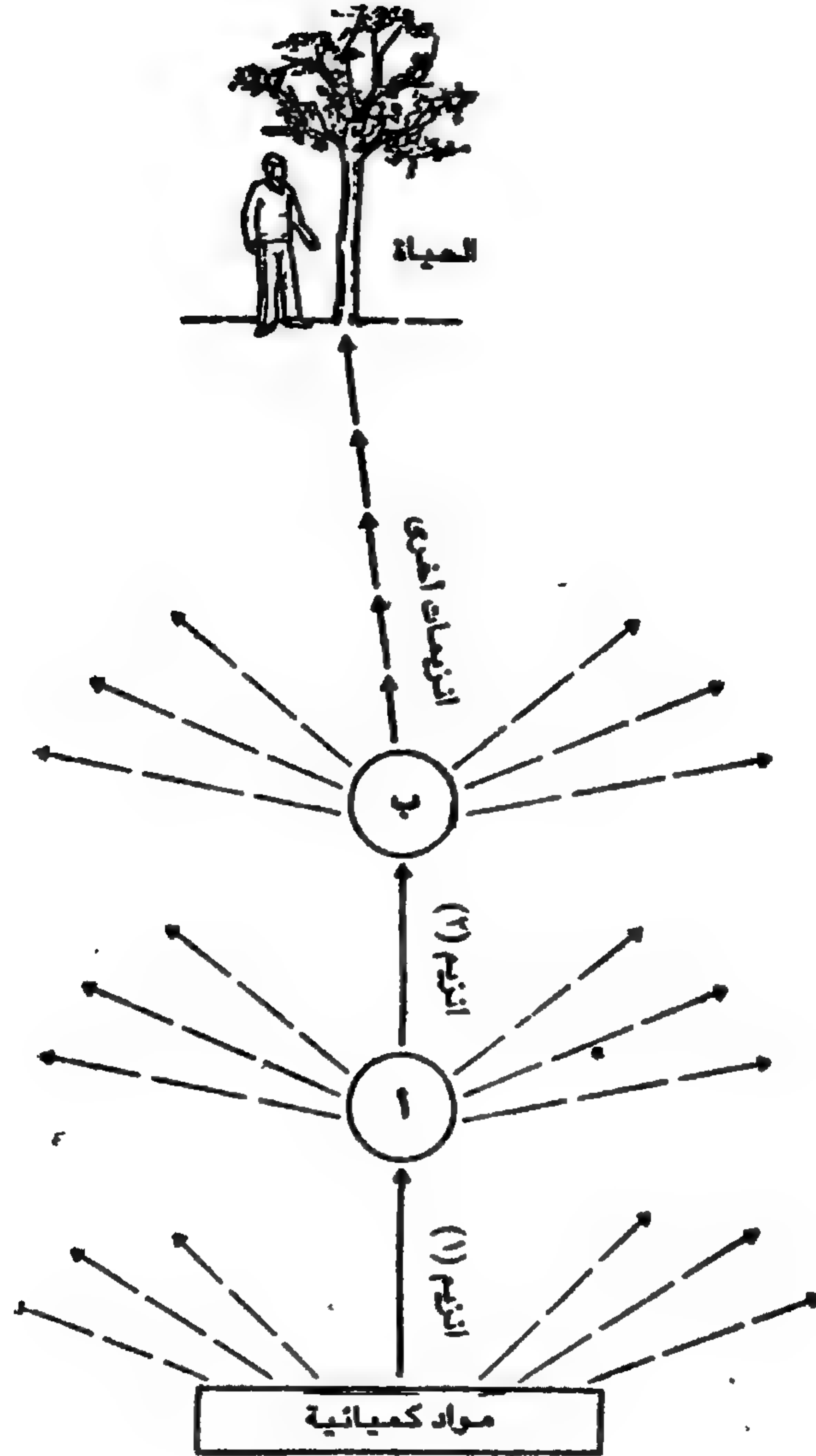
فإذا كانت أهمية الجينات هى أنها الباعثة على تكوين البروتينات ، فيجب أن يكون السؤال المهم التالى ، ما هو دور البروتينات ؟ تقوم البروتينات بسلسلة كبيرة جدا من المهام الأساسية داخل الكائنات الحية ، لكنه توجد بساطة مذهشة فى أبعاد التنوع والتعقيد الظاهر فى تأثيراتها . فالبروتينات بسبب تركيباتها الكيميائية لها القدرة على الارتباط بطريقة انتقائية Selective binding بمواد كيميائية معينة ، وبعد ذلك ، إما أن تعمل كمحفز ، أو تكون هى نفسها ، عرضة لما يسمى بالتغيير التشكل

conformational change يحدث بعد ذلك بعض التأثيرات الكيميائية الأخرى . فالارتباط الانتخابي والتحفيز والتغير التشكلى ، هى المهام الثلاث العظيمة التى تقوم بها البروتينات ، وسوف نوليها مزيداً من البحث ، لتوضيح سبب أهمية هذه التأثيرات .

والدور المؤثر والأكثر أهمية الذى تلعبه البروتينات ، هو أنها تعمل كالجزيئات التى تكون وتحافظ بالفعل على كل الخلايا . وتعرف البروتينات التى تقوم بوظيفة تكوين الخلايا والحفاظ عليها « بالانزيمات Enzymes » ، وهى تقوم بمهمتها التى يبدو عليها البراعة بطريقة بسيطة جداً . فكل انزيم عبارة عن حافز كيميائى متخصص جداً (وتذكر أن التعريف الصحيح للمحفز ، هو المادة التى تقوم بتعجيل تفاعل كيميائى معين ، بينما يظل هو نفسه دون أن يطرأ عليه تغيير أثناء التفاعل) . وقد ذكرت أن الكائنات الحية هى ماكينات كيميائية ، وهو ما يعنى ضمناً أن جميع أنشطة أى كائن حى ، هى النتيجة النهائية لأجراء العديد من التفاعلات الكيميائية . ويوجد فى الواقع عدد لا يحصى من التفاعلات الكيميائية المحتملة الحدوث من حيث المبدأ ، بين العديد من المواد الكيميائية الموجودة داخل الخلايا ، معظمها لا يساعد فى خلق الحياة ، بل ومنها ما يمكن أن يدمرها . وعلى ذلك فلكى تنشأ حياة من كل الامكانيات الكيميائية المتنوعة ، يجب أن يوجد شيء ما يوجه سير التفاعلات المناهضة لها . وتلك هى المهمة التى تقوم بها الانزيمات ، كما يلخصها الشكل ١٣ - ٢ . فالانزيمات تحفز التفاعلات الكيميائية للحياة وكل انزيم يحفز واحداً أو عدداً قليلاً على الأكثر من التفاعلات الكيميائية المحددة ؛ ويضمن عملها كحافزات ، بحيث لا تحدث الا التفاعلات الصحيحة ، فى المكان الصحيح ، وفى الوقت المناسب ، وبالسرعيات المطلوبة ، وبالترتيب الصحيح .

فكل واحد من آلاف التفاعلات التى تتحد لتصنع اميبا أو فأراً أو إنساناً ، يقوم بالتحفيز عليها انزيم معين . وبدون مساعدة هذه الانزيمات ، فلن تجرى العديد من هذه التفاعلات بأى قدر محسوس . فالانزيمات تجعل كيمياء الحياة المتكاملة البالغة التعقد ممكنة . فهى تخلق الترتيب والتركيب والاتزان من الحساء الكيميائى المشوش داخل خلايانا .

وعلى ذلك فمن خلال توفر المعلومات المطلوبة لصنع الانزيمات والبروتينات الأخرى ، تستطيع الجينات فى النهاية أن تصدد تركيب



شكل (١٣ : ٢)

من خلال تحفيز بعض التفاعلات الكيميائية بصورة انتخائية (الموضحة بالرسم بالأسهم السوداء) ، في الوقت الذي لا تقدم اية مساعدة على الإطلاق للعديد من التفاعلات الممكنة الأخرى (التي تظهر بخطوط متقطعة في الرسم) ، توجد الانزيمات الطاقة الكيميائية للبيئة على طول المسارات الكيميائية المؤدية للحياة •

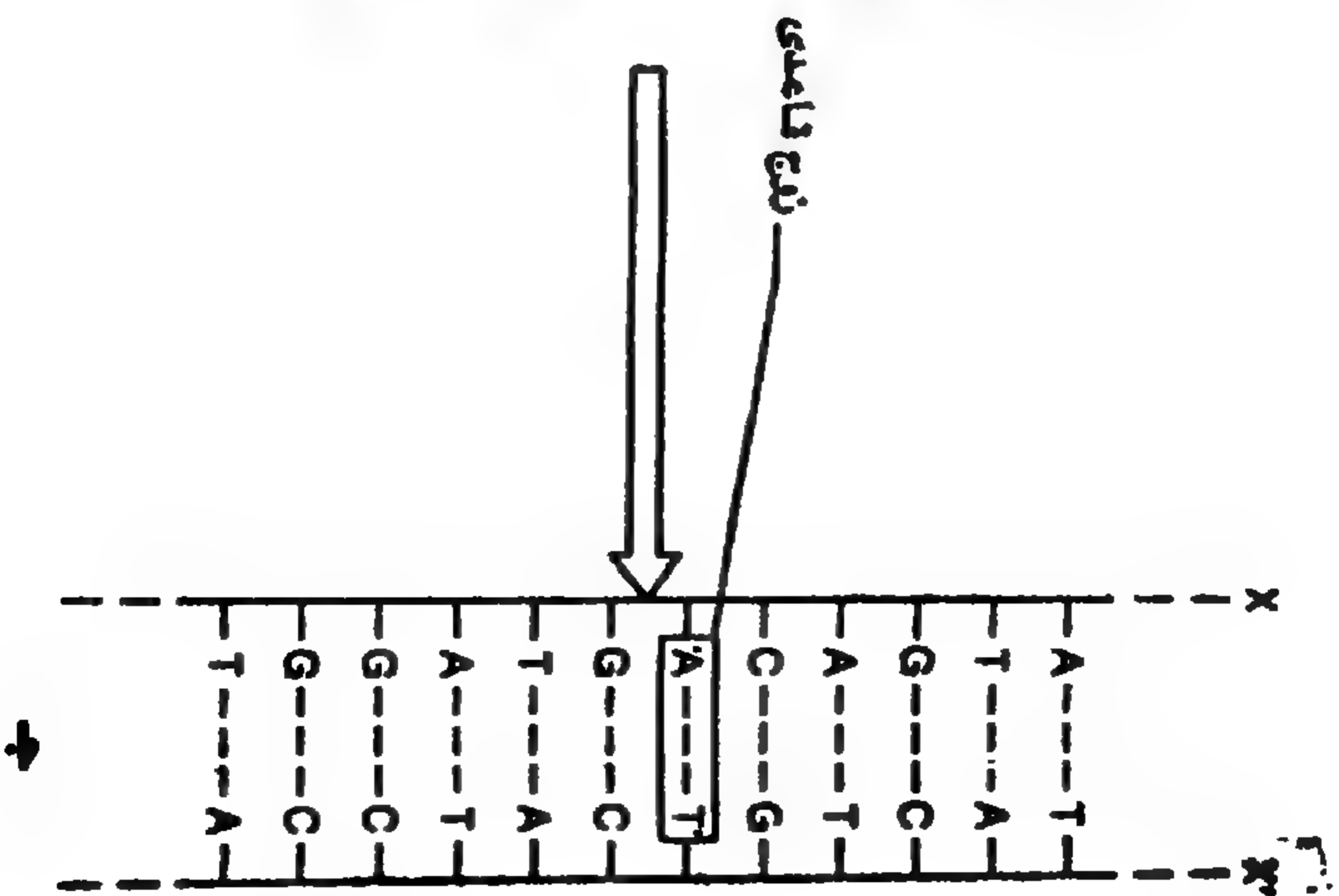
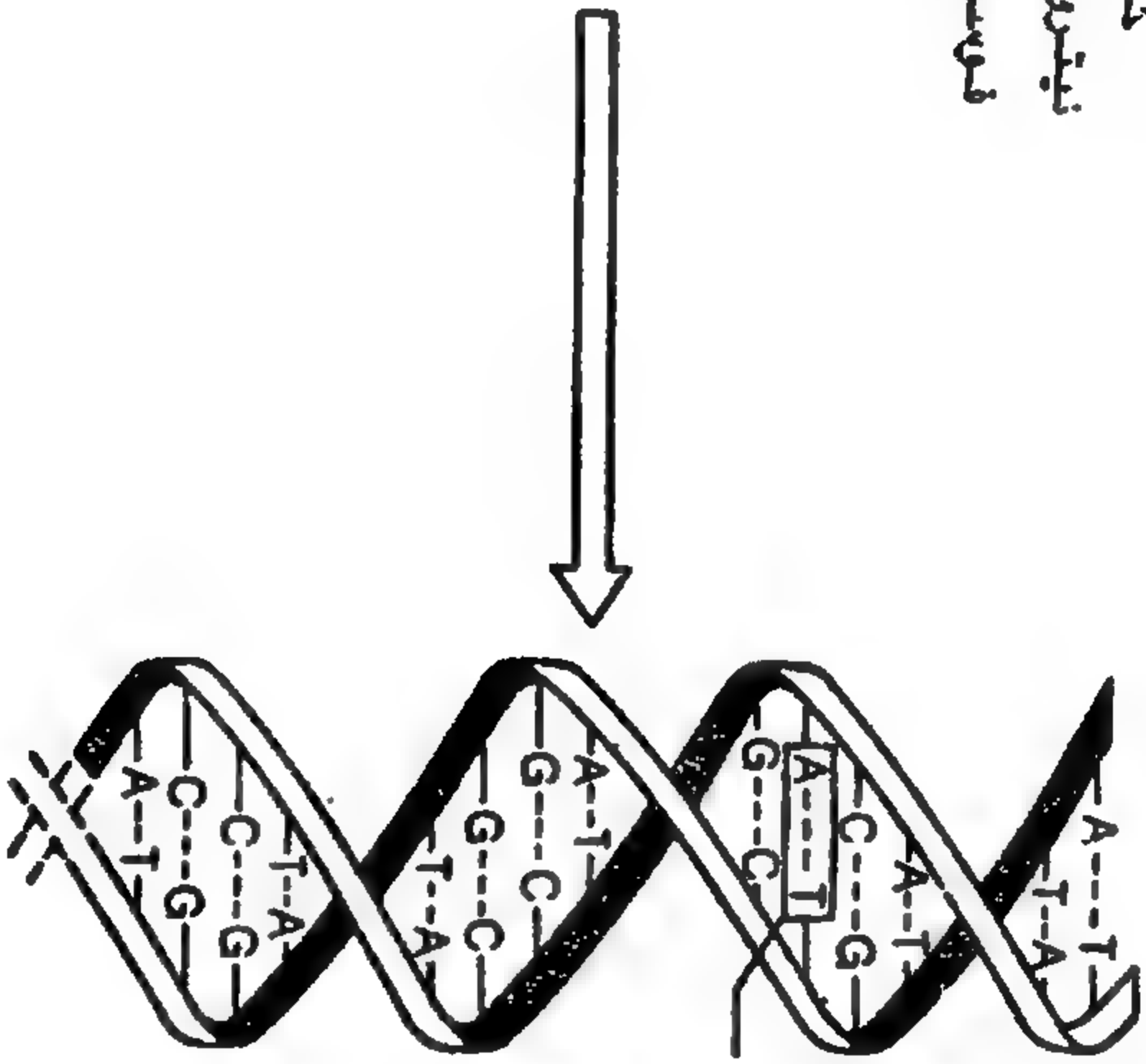
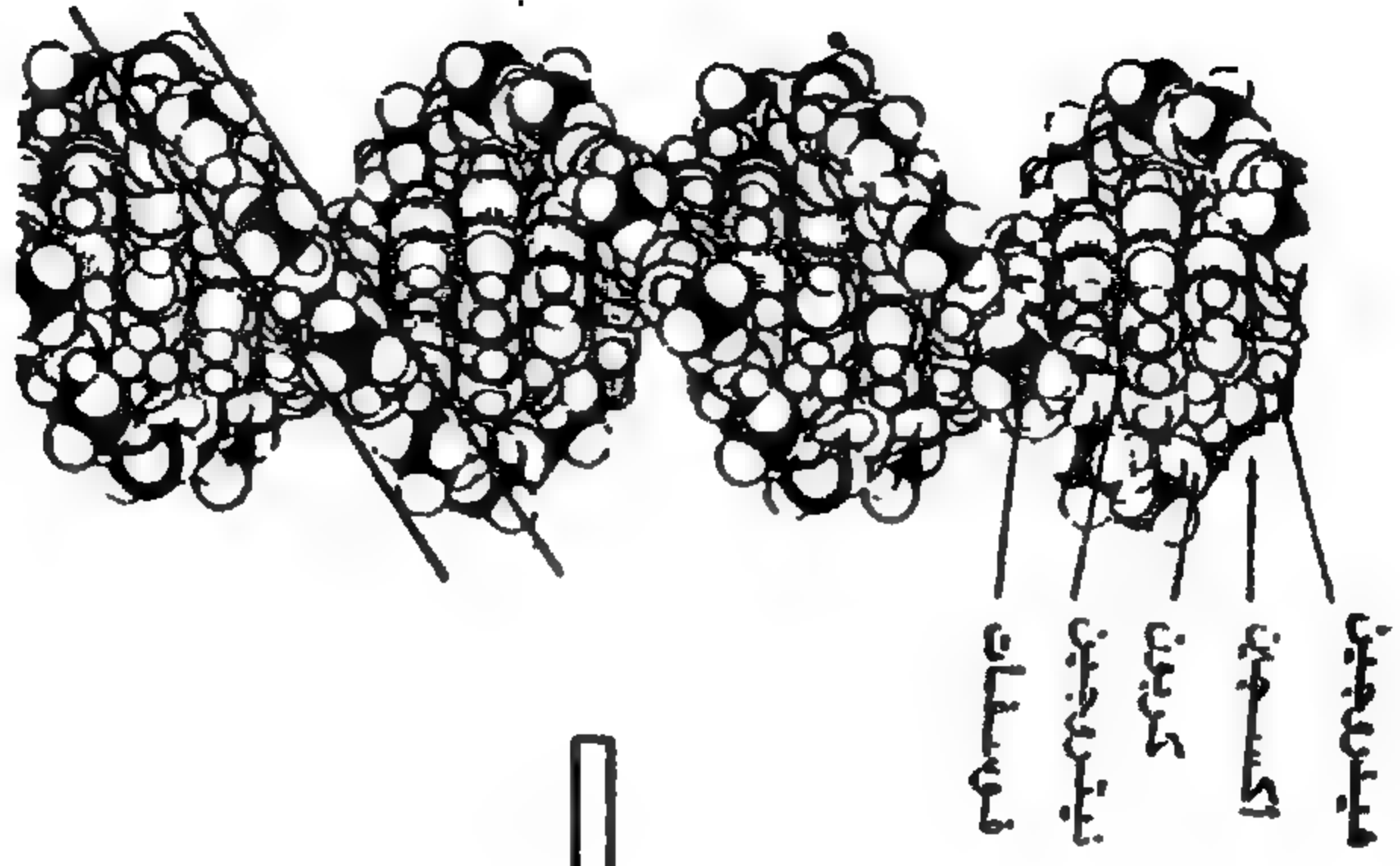
وانشطة جميع الخلايا والكائنات الحية ؛ اى تنحصر أهمية الجينات فى انها تحدد اى البروتينات التى يحتوى عليها كائن حى .

والرسالة الاجمالية لهذا الجزء الاول من الفصل ، هى ان الحياة قائمة على خلايا محتوية على الجينات ، التى توجه تصنيع البروتينات ، التى بدورها تعمل مجتمعة على انشاء كيمياء الحياة من المواد الأولية المتاحة . وقبل التعرف على المزيد عن الأنشطة المهمة للجينات والبروتينات ، يجب ان نأخذ فى الاعتبار بشكل موجز أحد الطوائف الأخرى من المواد الكيميائية ، ألا وهو حمض الـ RNA فالـ ر.ن.أ (الحمض النووى الريبى) له تركيب مشابه تماما للـ د.ن.أ ، ويعمل « كنسخة تشغيل » لـ د.ن.أ الخاص بجين معين ، تلك النسخة التى تنتقل من نواة الخلية وتدخل الى العصارة الخلوية ، حيث تجرى فى واقع الحال عملية تجميع البروتين . ويعتبر الـ د.ن.أ ، هو النسخة الاصل للمعلومات الوراثية لاية خلية ، التى تظل موجودة فى مكان آمن داخل الخلية . وتصنع نسخ الـ ر.ن.أ من الـ د.ن.أ لكل جين داخل النواة ، وتنقل من داخل الخلية الى العصارة الخلوية عند الطلب ؛ وهذه النسخ من ر.ن.أ للجين ، هى التى توجه بالفعل عملية تصنيع البروتينات . وكما توحى أسماؤها ، فان الـ ر.ن.أ والـ د.ن.أ ، ينتميان الى فئة من المواد الكيميائية ، تعرف بـ « الأحماض النووية Nucleic acids » . والأحماض النووية هى المواد الكيميائية التى يحدد تركيبها كيمياء الحياة .

الجينات والحلزون المزدوج

فى مركز كيمياء الحياة تماما ، يقع الـ د.ن.أ الذى يخزن المعلومات الوراثية المطلوبة التى تصنع وتتحكم فى اية خلية . ولكى يعمل الـ د.ن.أ كحامل لمعلومات وراثية ، يجب ان يكون قادرا على القيام بشيئين . أولا ، يجب ان يحتوى بشكل واضح على معلومات ؛ وثانيا ، يجب ان تكون هناك طريقة ما لنسخ هذه المعلومات ، بحيث انه عندما تتضاعف الخلايا من خلال انقسامها الى اثنتين ، تكون هناك نسخة متوفرة لكل خلية من الخليتين الجديدتين . واذا نظرنا الى تركيب الـ د.ن.أ ، ونظرنا بعد ذلك الى الطرق التى تبسط وتعمم سمات مادة كيميائية معقدة ، فسوف نكتشف فى الحال مدى توفر هذين المعيارين .

ويوضح لنا شكل ١٣ - ١٢ بصورة تقريبية بقدر الامكان ، شكل الـ د.ن.أ فهو يوضح قطاعا مختصرا من د.ن.أ بمناطق ذات



شكل (١٣ - ٢)

تركيب الدنا ذو الحلزون المزدوج

أحجام وظلال مختلفة ، تمثل الذرات المختلفة الموجودة في مادة كيميائية .
ويبلغ طول جزيئات الـ د.ن.١ الحقيقية مئات الآلاف من المرات قدر
طول هذا القطاع المختصر ، ولكن لكي نفهم المادة الكيميائية ككل ،
فلا نحتاج إلا أن نأخذ في الاعتبار قطعة صغيرة منها . فحين واحد مرسوم
بنفس المقياس الموجود بشكل ١٣ - ٣ ، سيكون طولها الحقيقي
لا يقل عن ستة أمتار (بينما يبلغ طول العديد من الجينات أكبر من هذا
الطول) . ويتكون الـ د.ن.١ من خمسة أنواع مختلفة فقط من
الذرات : الهيدروجين والكربون والنتروجين والأكسجين والفسفور .
وعلى الرغم من هذا العدد القليل ، إلا أن تركيب الـ د.ن.١ معتد جداً ،
عندما توضح جميع ذراته ، ولحسن الحظ ، يمكن أن تبسط بسهولة ،
وتعتبر إحدى السمات المبسطة مرئية ، وإن كانت بصورة ليست واضحة ،
في شكل ١٣ - ٣ . فيمكن ملاحظة شريطين حلزוניين من الذرات ،
من لولبين حول مركز داخلي رئيسي (ويوضح واحد منهما بالخططين
المستقيمين المرسومين يحددان كلا جانبيه بالشكل) . ويعرف هذان
الخطان بالهيكل الحلزوني للـ د.ن.١ ، حيث أن الغرض الوحيد
الحقيقي منهما أن يعمل كإطار يحمل ذرات المركز الداخلي ، ويشكلان
سويا أصل التركيب الحلزوني الشهير للـ د.ن.١ .

ويمكن رؤية الطبيعة الحلزونية المزدوجة للـ د.ن.١ بشكل واضح
تماماً في شكل ١٣ - ٣ ب . ويوضح هذا ببساطة شديدة تركيب
الـ د.ن.١ ، من خلال التمييز بشكل واضح بين اثنين من مناطقه الرئيسية
— الهيكل الحلزوني والمركز الرئيسي — وتمثيلهما بشكل تخطيطي بدلا
من توضيح كل ذرة . وللهيكل الحلزوني تركيب متكرر منتظم ، أي أنها
متطابقة من قطعة لأخرى في الـ د.ن.١ ، ومن أحد الجينات للجين
الآخر ، ومن ثم فلا تحمل أية معلومات وراثية ، بل تقع هذه المعلومات
داخل المركز الرئيسي ، الذي تم تبسيطه في شكل ١٣ - ٣ ب ، من خلال
استبدال ذراته بالحروف الأولى من المجموعات الكيميائية المختلفة الموجودة
بداخل المركز . ويتكون مركز أي حلزون مزدوج لحمض د.ن.١ من
أربع مجموعات كيميائية مختلفة فقط ، تعرف بالقواعد . وهذه القواعد
هي ، الأدينين A والثيامين T والجوانين (G) والسيتوسين (C)
وتتضمن الاختلافات بين جزيئات الـ د.ن.١ المختلفة وكذا الاختلافات بين
جينات الأمييا والفئران والانسان ببساطة على تسلسلات مختلفة ترتب
من خلالها القواعد الأربع المكونة للـ د.ن.١ . وعلى ذلك ، لكي نفهم
كيفية عمل الـ د.ن.١ ، يجب علينا أن ندرس القواعد الأربع
والترتيب الذي توجد به داخل مركز الحلزون المزدوج .

في شكل ١٢ - ٣ ج ، اتخذت عملية التبسيط خطوة نهائية . فقد أصبح الهيكل الحزوني مفرودا وصار الآن ممثلا بخطين مستقيمين . وهذا يجعلنا نركز على القواعد الرئيسية التي تحمل المعلومات الوراثة . ويوضح هذا المخطط أن هذه القواعد تبرز في مصفوفة مرتبة على الهيكل الحزوني ، وأن كل قاعدة تقع على أحد الحزونين تقابلها قاعدة أخرى على الحزون الآخر ؛ ولكن لاحظ أنه توجد خطوط متقطعة بين قواعد الحزونين المتقابلين ، بدلا من الخطوط المتصلة . وذلك لأن حزون الـ د.ن.أ المزدوج ، ليس في حقيقة الأمر جزيئا واحدا ، لكنه جزيئان متميزان ملفوفان حول أحدهما الآخر . فكل حزون وقواعده المتصلة به ، وبمعنى آخر ، كل جديلة من جديلتي الحزون المزدوج ، هي جزيء واحد متميز . والحزونان ملتفان حول أحدهما الآخر ، ومرتبطان ببعضهما بواسطة الجذب بين الخوى الضعيف ، من النوع الذي ذكرناه في الفصل الثاني عشر . وعلى ذلك فالحزون في حقيقة أمره جزيء مزدوج يرتبط فيه كل جزيء فردي بالآخر من خلال مصفوفة من الجذب الكهرومغناطيسي الضعيف بين أزواج القواعد المتقابلة ، التي تعرف « بالقواعد المزدوجة » . وخلاصة القول ، فإن الحزونات الفردية لا تعتبر حتى جزيئات حقيقية ، لكنها أيونات جزيئية ، حيث أن المجموعات الأيونية المشحونة بشحنة كهربية سالبة بارزة جميعها للخارج من كل من هيكل حزوني .

ففي خطوتين فقط استطعنا أن نختصر تركيب الـ د.ن.أ الحزوني المزدوج من مجموعة تشبه الواقع مكونة من خمسة أنواع من الذرات ، إلى مصفوفة بسيطة من الحروف (تمثل المجموعات الكيميائية الأربع ، التي نسميها بالقواعد) ، والخطوط (التي تمثل بقية الـ د.ن.أ) والخطوط المتقطعة (التي تمثل الروابط الضعيفة بين القواعد المتقابلة) . ويحتوي تركيب هذه المصفوفة البسيطة على السر في كيفية عمل الـ د.ن.أ كمادة وراثية للحياة .

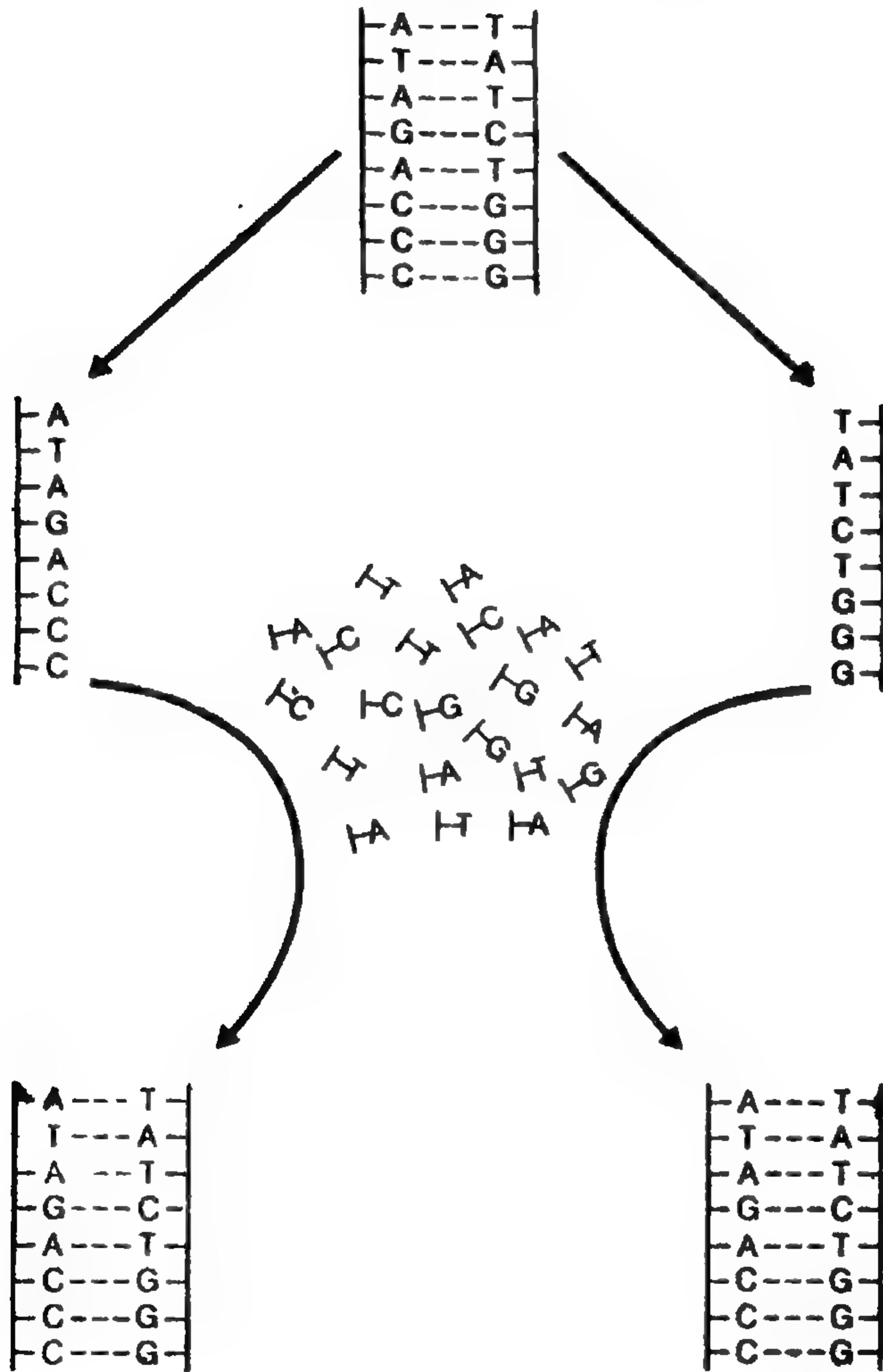
والخطوة الأولى نحو إلماطة اللثام عن هذا السر ، هي البحث عن الترتيب الخفي الموجود في تركيب الـ د.ن.أ . فهو ليس خفيا تماما ، لكنه قد يبدو خفيا من الوهلة الأولى . أمعن النظر في القواعد المحددة التي تصنع ازدواجا قاعديا واحدا . فكلما ظهرت A في إحدى الجديلتين نجد أنها تتزاوج مع الـ T الواقعة في الجديلة الأخرى ، وكلما وجدت الـ T ، فإن شريكها هي الـ A . ونفس الشيء ينطبق على حرفي الـ G و C : فكل قاعدة C تتزاوج مع قاعدة G . وتعرف هذه

التزاوجات بقوانين الازدواج القاعدي ، وهي تنتج من التركيبات الكيميائية الثلاثية الأبعاد للقواعد . وخلال كل الـ د.ن.ا الموجود في أية خلية ، يوجد نوعان فقط من القواعد المزدوجة — قواعد الـ A تتزاوج مع قواعد الـ T ، وتتزاوج قواعد الـ G مع قواعد الـ C سواء في هذا الاتجاه أو ذاك . فهذه هي القواعد المزدوجة الوحيدة التي يمكن أن تتألف مع بعضها البعض داخل تركيب الحلزون المزدوج ، وهي توصف كأزواج بين القواعد المتتامة ، فالقاعدة A تنتم القاعدة T ، مثلما تنتم القاعدة G القاعدة C . فأى جديلتين من الـ د.ن.ا التي ترتبط تسلسلاتها القاعدية تبعاً لقوانين الازدواج القاعدي ، تعتبر جدائل متتامة ، وهذه الجداول المتتامة فقط من الـ د.ن.ا هي التي يمكن أن ترتبط ببعضها البعض لتكون الـ د.ن.ا الحلزوني المزدوج . وتعتبر ظاهرة الازدواج القاعدي المتتام هي المفتاح لكل أنشطة الـ د.ن.ا ، وتذكر أن ظاهرة الازدواج القاعدي المحددة ، هي ببساطة نتيجة كيميائية أوتوماتيكية لتركيب القواعد المستخدمة .

والآن دعنا نعود إلى الشئتين اللذين يجب أن يقوم بهما الـ د.ن.ا ، لكي نرى كيف تتيح ظاهرة الازدواج القاعدي المحددة القيام بهما . فالـ د.ن.ا يجب أن ينسخ بطريقة ما ، حتى يوفر نسخاً للأجيال القادمة ، والتي تختصر إلى الحاجة إلى توفير نسخة لكل من الخليتين المتكونتين ، عندما تتضاعفان من خلال انقسامهما إلى نصفين ؛ ويجب أن يكون الـ د.ن.ا قادراً بطريقة ما على أن يحتوى المعلومات ؛ تلك المعلومات المطلوبة من أجل توجيه تصنيع جزيئات بروتينية محددة .

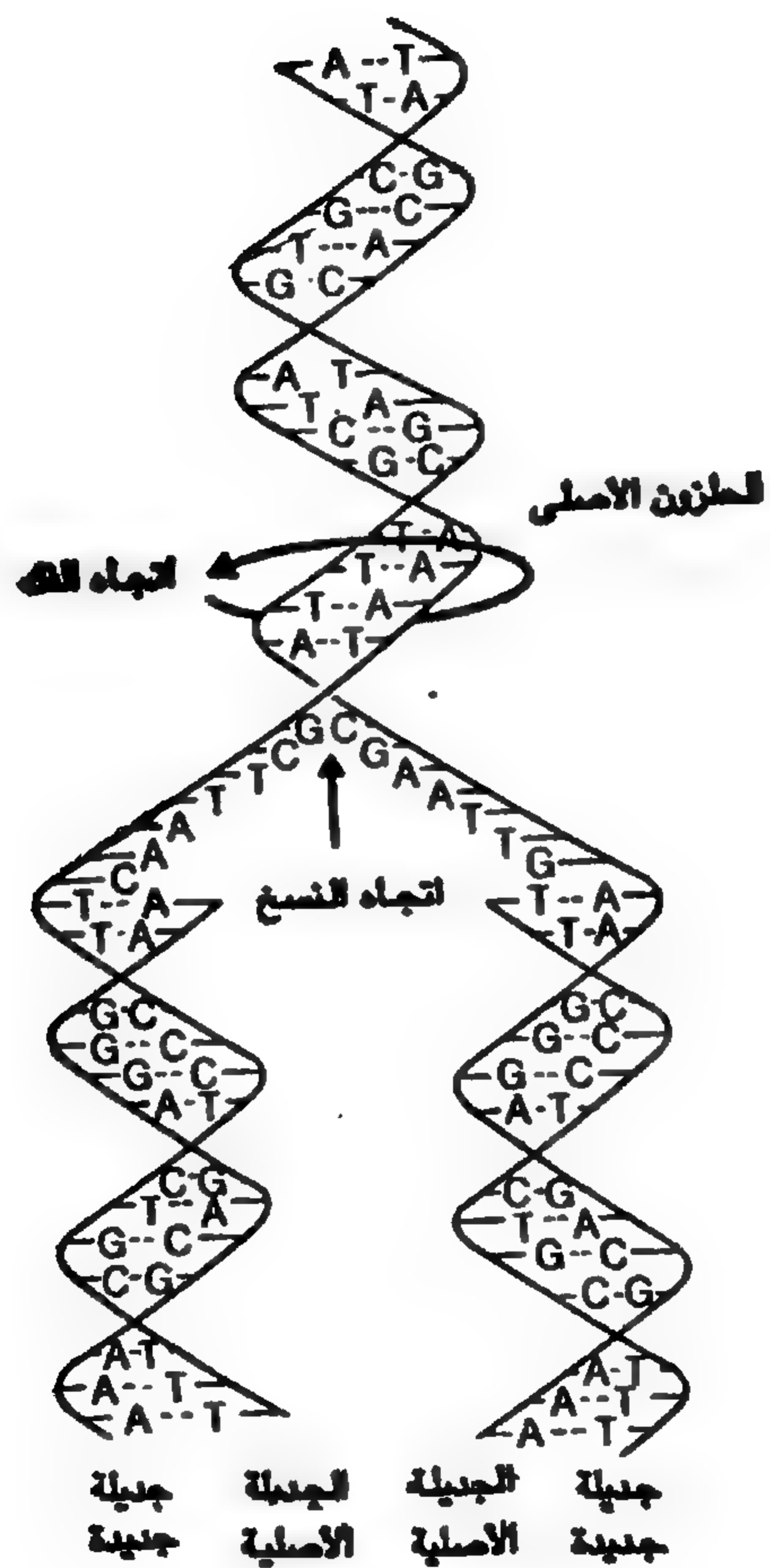
وتحقق الإجابة على مشكلة النسخ في وجهك ، عندما تتفحص شكل ١٣ — ٣ ج . يجعل تركيب الـ د.ن.ا من السهل جداً إنتاج نسخ حقيقية من أى حلزون مزدوج معين ، لأن كل المعلومات المطلوبة لعمل حلزون مزدوج كامل ، محتواة داخل أية جديلة من جديتيه . ولكي ندرك هذا ، تخيل جديلتين لنموذج من الحلزون المزدوج ، تتميزتان ، وقد زودت بواحدة منهما فقط . وعلى شرط أنك أعطيت مورداً من القواعد الأربع المرتبطة بالذرات ، التي تكون الهيكل الحلزوني ، فيمكنك بسهولة إعادة إنشاء الحلزون المزدوج الأصلي . فكل ما تحتاجه ، هو أن ترتبط جديلة جديدة مع القواعد الموجودة تبعاً لقوانين الازدواج القاعدي (انظر شكل ١٣ — ٤) . وهذا قريب الشبه كثيراً بما يحدث في الخلايا الحية ، عندما يستنسخ الـ د.ن.ا الخاص بها ، إذ يفك الحلزونين المكونين للحلزون المزدوج بفعل نشاط العديد من البروتينات . القدرة

على ربط لولبي الحلزون ، وتحفيز فكها ، وبعد ذلك تعمل بروتينات أخرى كإنزيمات لتحفيز التفاعلات التي تربط القواعد الجديدة المطلوبة ونترات الهيكل في حلزونين جديدين ، ويكمل الواحد منهما كل واحدة من الجديلتين المفصولتين الأصليتين (انظر شكل ١٣ - ٥) .



شكل ١٣ - ٤

أي شخص مزود بجديلة واحدة فقط من جديلتى حلزون الـ ١٠ د ن ١٠ المزدوج ومورد من التكلبيوتيدات (القواعد المرتبطة بالذرات التي تشكل هيكل الـ ١٠ د ن ١٠) يمكن أن يعيد تخليق الحلزون المزدوج الأصلي بسهولة ، من خلال اتباع قوانين الازدواج القاعدي .



شكل ١٣ - ٥

نسخ الـ ١٠ د ن ذى الحلزون المزدوج

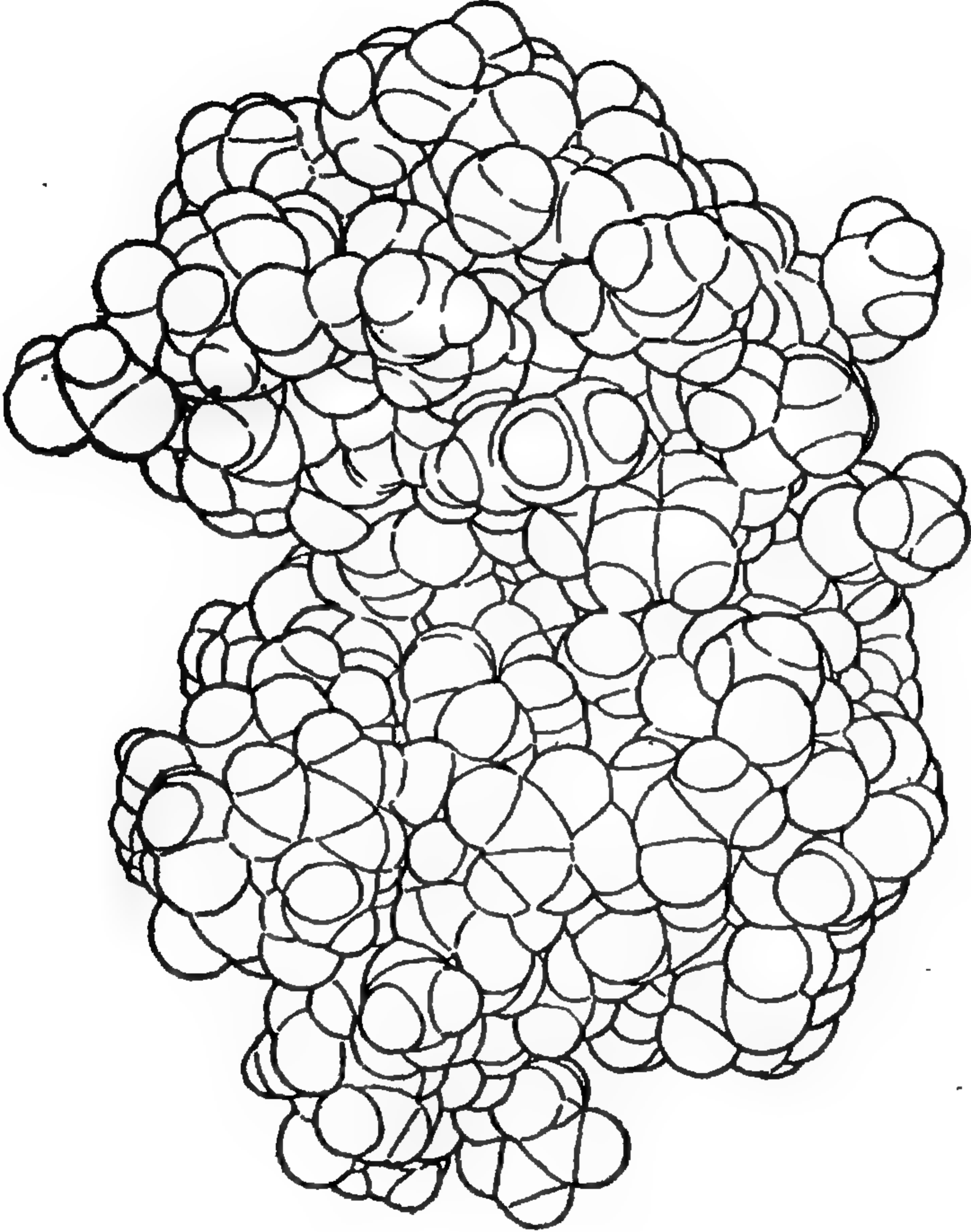
وعلى الرغم من أن جميع الاتزيمات تحفز كل التفاعلات الكيميائية المستخدمة في عمل نسخة مطابقة من د.ن. ١٠ ، فإن تخصص العملية يرجع الى تركيب قواعد الـ د.ن. ١. وتتكون الازدواجات الصحيحة للقواعد ببساطة ، لأن هذه القواعد هي الوحيدة التي يمكن أن تتكون بالطريقة التي تسمح للاتزيمات الموجودة بأن تربط القواعد الجديدة في سلسلة د.ن. ١ نامية . فإذا ما حدث ازدواج غير صحيح ، شيء مما يتوقع حدوثه ، فإن القواعد ستكون في الموضع الخاطئ بالنسبة لحدوث التفاعل الرابط ، ومن هذا المنطلق يكون اعتبارها « غير صحيحة » .

وهكذا رأينا الاجابة عن مشكلة النسخ ، وهي بسيطة للغاية . والاجابة عن مشكلة المعلومات بسيطة أيضا من حيث الجوهر ، لكنها أكثر تعقيدا في تفاصيل كيفية ترجمتها لخلق جزيئات بروتينية عاملة .

والشيء الوحيد الذي يتغير في الجلزونات المزدوجة المختلفة لـ (د.ن. ١) ، هو التسلسل الذي ترتب به القواعد . وعلى ذلك ، فالمعلومات الوراثية المدمجة في تركيب الـ د.ن. ١ ، تترجم بطريقة ما في تسلسل قواعد الـ د.ن. ١. ويمكن أن يحتوى حلزون مزدوج أى تسلسل من القواعد مهما كان . ومن ذلك يبدو أن هناك مجالا خصباً للتغيير في التركيب الدقيق للقطاعات المختلفة للـ د.ن. ١. وتصبح الطريقة التي يمكن أن تتحول من خلالها هذه التغييرات في التسلسل القاعدي الى المعلومات المطلوبة لانشاء بروتينات محددة جلية تماماً عندما نختبر التركيب الكيميائي للبروتينات .

ويعطينا الشكل ١٣ - ٦ انطباعا سليما عن الصورة الحقيقية لجزيء البروتين ، اذ يوضح بروتينا تمثل فيه كل الذرات الفردية بواسطة كرات ، الا أنه لا يوحى بشيء عن البساطة الكامنة في داخل هذا التعقيد التركيبي الظاهري . ونستطيع على الفور ان نستكشف هذه البساطة ، كما فعلنا مع الـ د.ن. ١ ، عن طريق استبدال الذرات الفردية ، بتمثيلات تخطيطية للمجموعات الكيميائية العديدة لصنع بروتين . فكما يوضح الشكل ١٣ - ٧ ج ، فجميع البروتينات مكونة من سلسلة طويلة من الجزيئات ، نشأت من ربط العديد من الجزيئات الأصفر المسماة بالأحماض الأمينية ببعضها البعض ، والتي تمثل بواسطة مستطيلات في الشكل . ويتكون كل حمض أميني من حوالى عشر الى عشرين ذرة ، وعدد الأحماض الأمينية التي تكون البروتينات هو

عشرون ، الا ان معظم البروتينات تحتوى على تشكيلات من عدة
مثات من هذه الاحماض .



شكل ١٣ - ٦

جزء بروتيني

وبمجرد ان يتكون البروتين من ارتباط الاحماض الامينية بالتسلسل
الصحيح (وهى العملية التى تقوم بالتحفيز عليها الانزيمات ، بطبيعة
الحال) ، حينئذ تطوى سلسلة البروتين الطويلة عادة الى شكل محدد

بطريقة دقيقة ، والتي تمثل تخطيطيا بالشكل ١٣ - ٧ ج ، وبصورة اكثر واقعية كما في الشكل ١٣ - ٦ . وفقط حين يطوى البروتين في صورته النهائية ، يستطيع عندئذ أن يقوم بدوره الكيميائي ، مثل عمله كإنزيم يمكنه تعجيل أحد التفاعلات الكيميائية المحددة ، إلا أنه من المهم أن ندرك أن طبيعة عملية الطي هذه ، تتحدد تماما بواسطة الأحماض الأمينية في سلسلة البروتين ، وبالترتيب الذي ترتب به . ويجرى طي البروتين في تركيبته النهائية بواسطة القوى الكهرومغناطيسية للجذب والتنافر بين الأحماض الأمينية للبروتين والبيئة المائية داخل الخلية . وعلى ذلك ، فبمجرد أن ترتبط الأحماض الأمينية في التسلسل الصحيح ، فإن مهمة تصنيع البروتين تكون قد انتهت بالفعل . بعد ذلك ، تطوى سلسلة البروتين الى تركيب دقيق ثلاثي الأبعاد شكلته القوى الكهرومغناطيسية ؛ وسوف يكون هذا هو التركيب الذي يسمح له بأداء مهمته البيولوجية المحددة بدقة عالية .

وعلى ذلك ، بدأ الدور الذي تقوم به المعلومات الوراثية يتخذ صورة أبسط وأوضح : فالمعلومة الوراثية التي توجه تصنيع بروتين معين ، تأخذ صورة تسلسل طولى من القواعد في د.ن.أ ، وإن ما يجب أن تقوم به هذه المعلومات الوراثية ، هو تحديد التسلسل الطولى الذي ترتبط من خلاله سلسلة من الأحماض الأمينية ببعضها البعض . وعلى ذلك ، فلكي نعرف كنه الطريقة التي يتحكم بها الـ د.ن.أ في تصنيع البروتين ، سوف لا نحتاج إلا الى معرفة العلاقة بين التسلسل القاعدي للجين وتسلسل الحمض الأميني للبروتين . ويمكن أن نذكر الإجابة بوضوح تام : فكل تسلسل مكون من ثلاث قواعد في الـ د.ن.أ ، يمكن أن يوجه حمضا أمينيا معينا لأن يرتبط في مجموعة من سلسلة بروتينية نامية . وتسمى كل ثلاث قواعد تقابل حمضا أمينيا معينا « كودون Codon » (١) .

وتلخص هذه الجملة الواحدة ، عملية معقدة وعجيبة ، لم تعرف تفاصيلها بالكامل حتى الآن ، في حين أن الصفحات القليلة التالية ،

سوف تعرض في ايجاز مختصر ، ما هو معروف عن هذه الآلية الأساسية للحياة . ويمكنك ان تجد وصفا تخطيطيا في اشكال ١٣ — ١٧ — ب .

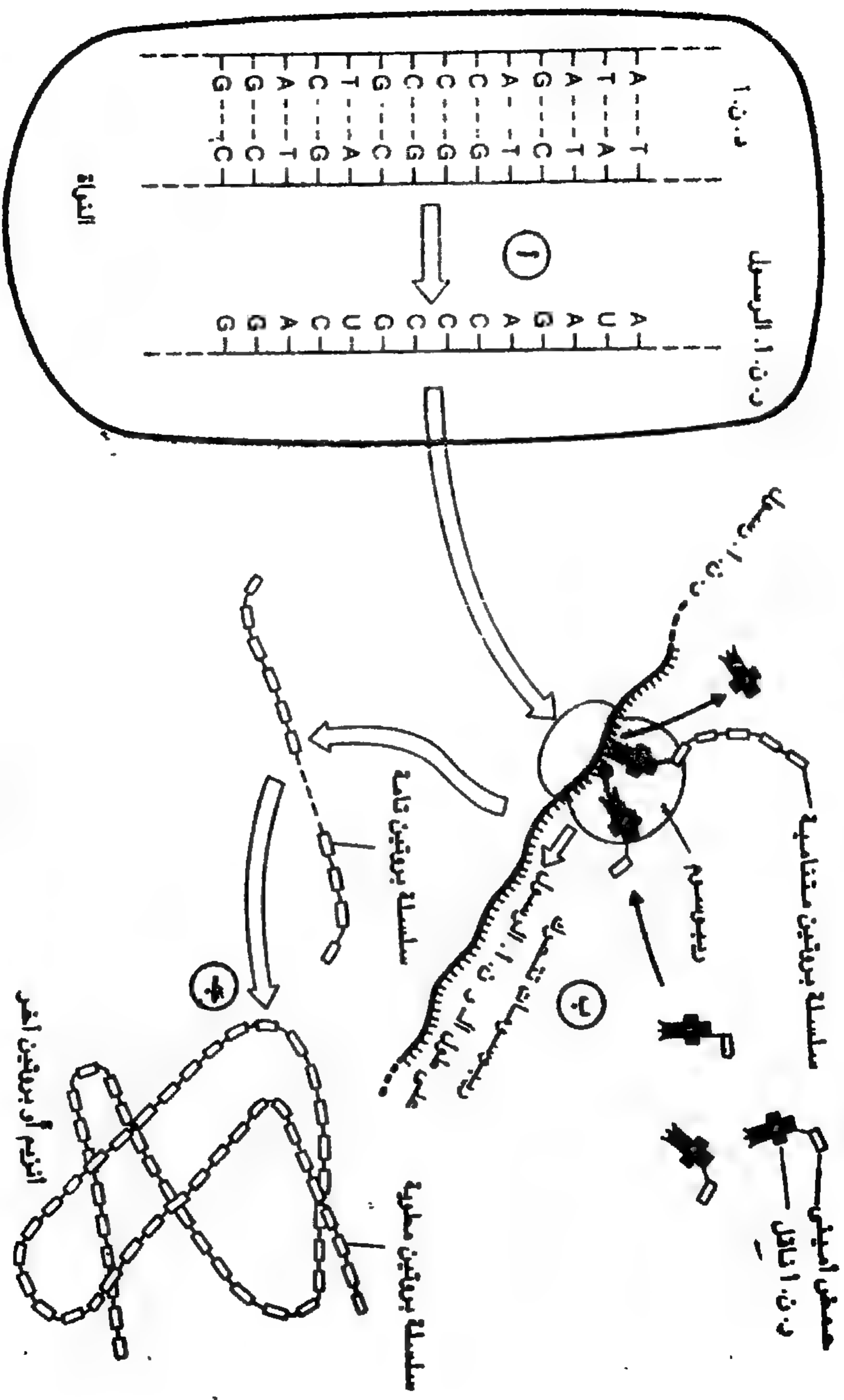
فهى تبدأ بالـ د.ن.١ ؛ النسخة الرئيسية للمعلومات الوراثية لاية خلية . وتذكر ان الجزء من اجزاء الـ د.ن.١ ، والذي يحتوى على شفرة بروتين معين ، يسمى جين ، وان اول شىء يحدث عندما يتسبب الجين في حدوث بروتين ، هو ان نسخة الجين تصنع في صورة حمض يسمى « الحمض الريبى ، او ر.ن.١ . R.N.A. » وهناك اختلافان واضحان بين الـ د.ن.١ ونسخته الـ ر.ن.١ العاملة . اولاً ، ان الـ ر.ن.١ ذو جديلة واحدة ، بينما يكون الـ د.ن.١ من جديلتين يكونان الحلزون المزدوج . بمعنى انه نسخة مطابقة من احدى جديلتى الـ د.ن.١ (و الـ ر.ن.١ الموجود بالشكل هو نسخة مطابقة من الجديلة اليسرى من الحلزون المزدوج غير الملفوف) . وايضا ، كلما ظهرت القاعدة T فى د.ن.١ ، فهناك قاعدة مختلفة تعرف بـ U (قاعدة اليوراسيل) ، تظهر فى نسخة الـ ر.ن.١ . وقاعدة اليوراسيل تشابه تماما فى تركيبها قاعدة الثيامين اى T ، وتكون الازدواج القاعدى مع الأدينين A ، تماما كما يفعل الثيامين ، وعلى ذلك فمن أجل الغرض الذى نقصده ، فان قواعد الـ U فى ر.ن.١ و T فى د.ن.١ يمكن اعتبارهما يتصرفان بطريقة متماثلة .

والنسخة المطابقة من ر.ن.١ لاحدى جديلتى الحلزون المزدوج ، تتم بطريقة مشابهة تماما كنسخ جديدة من الـ د.ن.١ نفسه . وفى هذه العملية يفك جزء من الحلزون المزدوج مؤقتا ، مما يسمح للانزيمات بان تستخدم احدى الجديلتين (الجديلة اليمنى فى شكل ١٣ — ١٧) كنموذج لتصنيع الجديلة المتممة لها من ر.ن.١ . وتاما مثل عملية انتاج نسخ مطابقة من د.ن.١ ، تعتمد عملية النسخ على قواعد الازدواج القاعدى . وباستمرار عملية النسخ ، فان الجزء الذى انفك من الحلزون المزدوج ، والذي تم نسخه ، يعود مطويا ، لينفك الجزء التالى الذى سينسخ . وعندما ينتهى الـ ر.ن.١ من نسخ الجين ، فانه يتحرر ليؤدى عمله ، ويعود الحلزون المزدوج الى حالته الطبيعية .

وتعرف نسخة الـ ر.ن. ١٠ لجين « بالـ ر.ن. ١٠ الرسول Messenger RNA ويكتب اختصارا (m RNA) ، حيث انه ينتقل من النواة ويدخل الى العصارة الخلوية ، حاملا معه رسالته الوراثية بتسلسل القواعد المرصوفة على طوله . وبالطبع ، تحدد محتويات الرسالة طريقة تصنيع البروتين . وفي واقع الأمر تتجمع البروتينات على تجمعات جسيمات تسمى بـ « الأجسام الريبية » ، او الريبوسومات ribosomes ، وهي تجمعات كبيرة من البروتين ونوع آخر من الـ ر.ن. ١٠ يسمى « الرايبوسومي Ribosomal RNA » ، وتوجد في مواقع عديدة في العصارة الخلوية للخلية (انظر شكل ١٣ - ٧ ب) .

ويصبح الجسم الريبى و.ر.ن. ١٠ الرسول مرتبطين بأحدهما الآخر من خلال تفاعل كيميائى معين . ويتحرك الجسم الريبى بعد ذلك على طول ر.ن. ١٠ الرسول من أوله الى آخره . واثناء قيامه بذلك ، يخلق البروتين الذى يشفر عنه الـ ر.ن. ١٠ الرسول ، لأنه فى كل مرة يقابل الجسم الريبى تسلسلا من ثلاث قواعد (كودون) فى ر.ن. ١٠ الرسول ، فسان الحمض الأمينى المعين (ذلك الحمض الذى تشفر عنه القواعد الثلاث) ، يربط بواسطة الانزيمات فى سلسلة البروتين المتنامية التى يتم تخليقها . وتبدو هذه العملية غامضة ويكتنفها السحر تقريبا ، لكنها تحدث من خلال سلسلة من التفاعلات الكيميائية البسيطة كالآتى :

تحتوى العصارة الخلوية على اعداد من طائفة أخرى من جزيئات نوع ثالث من الـ ر.ن. ١٠ التى تعرف بالـ « ر.ن. ١٠ الناقل او Transfer RNA (t RNA) » ، ويتصل بجزيئات هذا الحمض من ناحية تسلسل من ثلاث قواعد يمكن أن تتم أحد الكودونات المكونة للحمض الريبى الرسول والملتصق بالريبوسوم ، ومن ثم فهذا التسلسل يسمى بالكودون المقابل anti codone ، ومن الجهة الأخرى أحد الأحماض الأمينية التى تخلق منها البروتينات . وعلى ذلك ، تحمل جزيئات ر.ن. ١٠ الرسول كودونا يمثل حمضا أمينيا معينا ، ويحمل كل جزيء ر.ن. ١٠ الناقل هذا الحمض فى أحد طرفيه ، والكودون المقابل لنفس الحمض فى الطرف الآخر .



البناء

د.ن.ا

شكل ١٢ - ٧

• تلخيص لميعة جينية • يفسح د.ن.ا في الـ د.ن.ا ذي الجينية الواحدة • وهذا الـ د.ن.ا الرسول mRNA ينتقل الى المصارة الخلوية ويرتبط بجسم ربي • ويتحرك الجسم الربي على طول الـ د.ن.ا الرسول ، يسمح لجزيئات الماء من الـ د.ن.ا الناقل RNA بأن ترتبط بأكودونات الـ د.ن.ا الرسول ، عن طريق تكوين قواعد مزدوجة بين الكودونات والكودونات المفسدة المضافة على جزيئات الـ د.ن.ا الناقل • وبقي كل د.ن.ا ناقل معه بالمحضي الايني الذي يشغل على أي كودون يستطيع ان يرتبط به الـ د.ن.ا الناقل • وتتجمع الاحماض الامينية مع بعضها لتشكل البروتين الذي يشغل على الجين •

وعلى ذلك ، فعندما تنتقل الأجسام الريبية على طول جزيء ر.ن.١٠ رسول ، تصبح الكودونات مكشوفة في موقع خاص على الجسم الريبى ، فيأتى جزيء الـ ر.ن.١٠. الناقل ، ذو الكودون المقابل ، ليتصل بالكودون الذى كشف عنه ، ومع الحمض الأمينى المطلوب ، ليرتبط بالسلسلة الجارى تخليقها لجزيء البروتين المطلوب. وتنتهى مهمة كل ر.ن.١٠ ناقل فى الجسم الريبى بمجرد أن يصبح حمضه الأمينى مندمجا بالسلسلة البروتينية ، فينفصل عن الريبوسوم وينطلق ليأتى بحمض جديد ؛ بينما ينتقل الجسم الريبى ليكشف كودونا جديدا ، وهكذا . ويوضح جدول الشفرة الوراثية الشهير التفاصيل التى تشفر من خلالها الكودونات عن أحماض أمينية معينة ، الموضح فى الشكل ١٣ - ٨ .

القائمة / الشفرة الثانية

	القاعدة / الشفرة الأولى				
	U	C	A	G	
U	UUU } Phe UUC } UUA } Leu UUG }	UCU } UCC } Ser UCA } UCG }	UAU } Tyr UAC } UAA } STOP UAG } STOP	UGU } Cys UGC } UGA } STOP UGG } Trp	U C A G
C	CUU } CUC } Leu CUA } CUG }	CCU } CCC } Pro CCA } CCG }	CAU } His CAC } CAA } GluN CAG }	CGU } CGC } Arg CGA } CGG }	U C A G
A	AUU } AUC } Ileu AUA } AUG } Met	ACU } ACC } Thr ACA } ACG }	AAU } AspN AAC } AAA } Lys AAG }	AGU } Ser AGC } AGA } Arg AGG }	U C A G
G	GUU } GUC } Val GUA } GUG }	GCU } GCC } Ala GCA } GCG }	GAU } Asp GAC } GAA } Glu GAG }	GGU } GGC } Gly GGA } GGG }	U C A G

شكل (١٣ - ٨)

- جدول الشفرة الوراثية • وتمثل الأحماض الأمينية التى يشفر عنها كل كودون • بأسمائها المختصرة المتعارف عليها •

وفي النهاية يصل الجسم الريبي المتحرك على الرسول الـ ر.ن.١ الرسول الى كودون لا يجد له نظيراً على الـ ر.ن.١ الناقل . ويعرف هذا الكودون بكودون « التوقيف » (٥) ، لأنه يشير الى الموضع الذي يكتمل عنده تصنيع البروتين ويترك يتوقف . وينفصل الـ ر.ن.١ الرسول والجسم الريبي والبروتين حديث التكوين كل منها عن الآخر ، تاركين البروتين مستعداً لاتمام عملية طيه (وتبدأ عملية الطي في الحدوث بمجرد أن يتم صنع الجزء الأول من البروتين) ويبدأ في القيام بمهمته الكيميائية داخل الخلية ، ويترك الجسم الريبي والـ ر.ن.١ الرسول مستعدين للدخول في دورات أخرى من دورات تصنيع البروتين .

وها أنت قد تعرفت في ايجاز شديد على الآلية الكيميائية الأساسية للحياة . فالتركيب الكيميائي للـ د.ن.١ يحدد التركيب الكيميائي للـ ر.ن.١ ، والذي بدوره يحدد التركيب الكيميائي لجزء بروتيني جديد ؛ وتمضي هذه العملية بصورة آلية نتيجة لسلسلة من التفاعلات الكيميائية البينية والتفاعلات المتكاملة ، التي تحفزها الانزيمات الموجودة داخل الخلية .

وتعرف عملية تخليق البروتين في الجسم الريبي بعملية الترجمة ، حيث يجري ترجمة الرسالة الوراثية الموجودة في ر.ن.١ الرسول من لغة الـ د.ن.١ والـ ر.ن.١ (أي من لغة الأحماض النووية) الى لغة البروتينات . وتعرف العملية الكاملة لتحويل شفرة جين الى بروتين والمضمنة على كل من عمليتي النسخ والترجمة « بالصيغة الجينية » ؛ ومن المهم أن نتذكر أن كل الانزيمات المطلوبة لتحفيز كيمياء صيغة جينية ، وكل البروتينات المستخدمة الأخرى ، قد تم انتاجها من قبل بواسطة عمليات سابقة . فقد تأسست كيمياء الحياة على اعتماد متبادل من التفاعل الضمني بين الجينات والبروتينات : فالجينات توجه عملية تصنيع البروتينات لتوليد البروتينات المطلوبة لبقاء ونسخ الجينات ، ومطلوبة أيضاً للسماح بالتعبير عن المعلومات الوراثية المخزنة بداخل الجينات . واعتدنا في بيولوجيا الحياة اليومية على ادراك الاعتماد المتبادل بين الدجاجة والبيضة . وتنعكس هذه الصورة من الاعتماد المتبادل في البيولوجيا الجزيئية على العلاقة القائمة بين الجين والبروتين .

وعلى ذلك ، يمكن تلخيص الآلية الأساسية للحياة فوق سطح الأرض كالآتي : (وانظر أيضاً الى الشكل ١٤ - ١) تعتبر الجينات أجزاء طويلة من الـ د.ن.١ ، الذي ترتب عليه القواعد الأربع المختلفة

بتسلسلات مختلفة . . وتسمح التكاملية الكيميائية بين أزواج القواعد المتوافقة ، لواحد من الـ د.ن.أ. حلزوني مزدوج بأن تكون لديه القابلية للنسخ إلى حلزوني مزدوجين ، وهي عملية النسخ الكيميائي ، التي تنطوي عليها كل صور تكاثر الكائنات الحية . وتسمح قواعد الأزواج أيضا بأن يحدد كل جين تصنيع جزئ ر.ن.أ. رسول ، والذي بدوره يحدد تصنيع أي بروتين . وأثناء هذه العملية يحدد تسلسل قواعد الأحماض النووية ، والـ د.ن.أ. والـ ر.ن.أ. التسلسل الذي تنطوي به جزيئات الأحماض الأمينية لتأخذ شكل بروتين جديد . وينطوي البروتين الجديد بطريقة أوتوماتيكية بشكل يسمح له بالقيام بمهمته ، كأن يعمل كإنزيم يستطيع التحفيز على تفاعل كيميائي أساسي في الحياة . وجاءت الاختلافات بين الكائنات العضوية المختلفة ، نتيجة التفاعلات الكيميائية المختلفة التي تحدث بداخلها ، وتعتمد التفاعلات التي تحدث على البروتينات المشفرة عنها داخل الـ د.ن.أ. في جينات كل كائن عضوي .

بروتينات قوية

ويبدو من الواضح من خلال جميع ما ذكرناه حتى الآن ، أن البروتينات هم « العمال » الجزيئيون الأساسيون ، الذين يقومون ببناء الخلايا والكائنات العضوية ، وعلى ذلك يجب أن نعطي مزيدا من الاهتمام للأشياء التي يمكن أن يؤديها والطريقة التي يؤديون بها عملهم . وسوف أقوم في عجلة سريعة بتلخيص الأدوار الأساسية التي تلعبها البروتينات في الحياة .

الإنزيمات هي أول شيء في القائمة ، وهي البروتينات القادرة على تحفيز جميع التفاعلات الكيميائية الموجودة في الحياة . كيف تقوم الإنزيمات بمهامها الجليلة ، التي غالبا ما تتضمن زيادة معدل أي تفاعل عدة آلاف من المرات، في حين لا تقدم أي عون على الإطلاق لكم لا يحصى من تفاعلات قريبة الشبه ، لأنها غير مرغوب فيها ؟ من حيث المبدأ ، فالاجابة غاية في البساطة . فالإنزيم في صورته المطوية النهائية له شقوق وثنايا على سطحه لا يمكن أن تتلاءم فيها إلا المواد الكيميائية المستخدمة في التفاعل الذي تحفزه . وعندما ترتبط المواد المتفاعلة في « مواقع الربط » هذه على سطح إنزيم ، فإنها توضع بتوجيه معين بحيث تجعل التفاعل يتم أسرع مما لو تم في عدم وجود إنزيم . ويمكن أن تشارك مجموعات كيميائية على الإنزيم نفسه

والمنتهية الى العديد من الأحماض الأمينية في التفاعل ، عن طريق جذب أو دفع الكروونات المواد الكيميائية المتفاعلة بطرق تشجع على استمرار التفاعل . وتجد بعض الانزيمات دعما في أعمالها الحفزية الفارعة من « انزيمات مشاركة coenzymes » ، والتي تعتبر جزيئات صغيرة بسيطة ، أو تجد حتى مساعدة أيونات فردية لبعض العناصر ، يمكنها الارتباط بهذه الانزيمات لتقدم لها العون الكيميائي . والقدرة على الامساك واستخدام هذه الانزيمات المشاركة أو الأيونات ، يعتبر بطبيعة الحال نتيجة لتركيب الانزيمات المعنية . ويجب أن نتعدل بعض الانزيمات بصورة دائمة عن طريق تفاعلات طي تحفز عن طريق انزيمات أخرى ، قبل أن يمكنها القيام بمهامها ، لكن تعتمد القدرة على المشاركة في هذه التفاعلات التعديلية بدورها على تركيبات الانزيمات الخاضعة للتعديل .

فالانزيمات على درجة من الانتشار ، ومن الأهمية ، ومن الفعالية بحيث أنه من السهل نسيان أن البروتينات تقوم بأعمال أخرى مهمة بخلاف عملها كإنزيمات . وبخلاف الانزيمات ، فإن الطائفة الأساسية التالية من البروتينات ، يحتفل أن تكون « البروتينات الانشائية ، (Structual proteins) والتي كما يوحى اسمها ، فانها تكون معظم التركيب الفيزيائي الذي يجعل الخلايا والكائنات الحية متماسكة في الشكل والهيئة التي هي عليها . ويمكن اعتبارها كنوع من « الدعائم الجزيئية » الموجودة داخل الخلايا وحولها وفيما بينها .

ولبعض هذه البروتينات الانشائية خاصية متميزة ، لكونها قادرة على الانزلاق أمام بعضها البعض لتخلق دعامة ديناميكية قادرة على الحركة والكبر أو الصغر حسب الضرورة . تلك هي البروتينات القابلة للانقباض التي تعطى عضلاتنا القدرة على الانقباض ، والتي تجعل الخلايا المنفردة تنقبض وتمدد وتحرك .

وتعمل بعض البروتينات الأخرى كناقلات كيميائية ، قادرة على الارتباط بمواد كيميائية معينة في أحد المواقع ونقلها إلى موقع آخر ، حيث تطلق سراحها هناك . وتحتوى دمائنا على بروتين يعصر بالهيموجلوبين ، موجود في كرات الدم الحمراء ، وهو المسئول عن نقل الأكسجين من الرئتين إلى خلايا الجسم .

وتعمل طائفة كبيرة ومتنوعة من البروتينات كرسائل كيميائية ، وتتكون هذه البروتينات وتنطلق من أحد الأماكن ، وبعد ذلك تنتقل إلى

موقع آخر ، حيث تقوم بالتفاعل مع مواد كيميائية هناك ، لتحديث بعض التأثيرات الكيميائية المعينة . والعديد من الهرمونات ، مثل « هرمونات النمو » growth hormone ، التي تضاعفها على النمو ، هي أما عبارة عن بروتينات ، أو « بروتينات مصفرة » ، تعرف بالبيبتيدات (Peptides)

وغالبا ما توصل هذه البروتينات التي تقوم بدور الرسل ، رسائلها عن طريق الارتباط بأعضاء من فئة أخرى مهمة من البروتينات ، وهي البروتينات ، المتقبلة ، Receptor proteins ، التي توجد مندمجة في الغشاء المحيط بالخلايا . وتستجيب هذه المستقبلات لوصول البروتين الرسول بأن تبدأ بنفسها تغيرا كيميائيا داخل الخلية ، وهو يعتبر الاستجابة المناسبة للرسالة .

وبعض البروتينات الأخرى التي توجد مندمجة في أغشية الخلايا ، تقوم بالتحكم في مسار المواد الكيميائية الى داخل وخارج الخلايا ، بالعمل « كبوابات » و « مضخات » كيميائية . والبوابات هي ببساطة عبارة عن قنوات ، يمكنها أن تفتح وتغلق لتسمح أو تمنع مرور مواد كيميائية معينة ؛ في حين تضخ المضخات مواد كيميائية معينة بصورة نشطة الى داخل وخارج الخلايا ، لتكوين تراكيزات عالية من هذه المواد الكيميائية ، اما داخل أو خارج الخلايا .

وتقوم العديد من البروتينات بدور « التحكم » في نشاط بروتينات أخرى ، أو في نشاط الجينات والأحماض الريبية ، التي تقوم بتصنيع البروتينات ، فهي عن طريق الارتباط بها يمكنها أن تتحكم في بدنها لنشاطها أو إيقاف ذلك النشاط .

وأخيرا ، في هذه القائمة التي لا يمكن اعتبارها بأية حال شاملة ، يمكن أن تعمل البروتينات كأسلحة دفاعية ، قادرة على الارتباط بالكائنات العضوية الغريبة أو الخلايا المريضة ، وبعد ذلك تبدأ سلسلة من الأحداث المؤدية الى تحييد أو تدمير « الهدف » . وتعتبر الأجسام المضادة من أكثر بروتيناتنا الدفاعية شهرة ، لكن توجد أخريات .

ويكشف هذا التلخيص السريع للقوى الرئيسية للبروتينات عن مدى قوة وتنوع الأشياء التي يمكن أن تقوم بها هذه الشغيلة الجزيئية ؛ ومع ذلك ، ففي قلب كل هذه القوى المتنوعة تكمن بساطة شديدة . فهي تقوم بهذه الأشياء ، نتيجة للطريقة التي ترتب بها أحماضها الأمينية المعينة في تسلسلات محددة ؛ ويعتمد كل شيء تفعله على قدرات عامة

ثلاث : القدرة على الارتباط بطريقة انتقائية بمواد كيميائية معينة ، ثم القيام بدور الحفز الكيميائي ، و ٧ / أو الخضوع لتغيرات تشكيلة (أى تغيرات فى تركيبها النطوى) الذى يستتبع بعد ذلك بعض الاستجابات الكيميائية الأخرى . فالارتباط الانتقائي والحفز والتغير التشكلى ، هى القوى الثلاث الرئيسية للبروتينات ، ووراء كل ما يمكن للبروتينات أن تقوم به ، وإن ما تقوم به البروتينات فى الأساس هو تخليق الخلايا وجعلها حية وقادرة على النمو والتكامل . وقد رأينا الآلية الأساسية داخل الخلايا ، التى تصنع من خلالها الجينات البروتينات ، وتعمل البروتينات كمواد حافزة تسمح للجينات بتصنيع البروتينات والتى تسمح أيضا بنسخ الجينات . ولكن ماذا أيضا بالنسبة للخلايا ، وبالنسبة للحياة ؟

تحتوى الخلية بالإضافة الى الأحماض النووية وبروتيناتها ، على فئتين رئيسيتين أخريين من العناصر . أولا ، تحتوى على الأغشية : الغشاء الذى يحيط بالخلية كلها ، والأغشية الأخرى التى تعمل كسياج لبعض اجزاء من الخلية ، لضمها فى جسيمات عضوية متخصصة ، مثل النواة . ثانيا ، تحتوى الخلية على منظومة كبيرة من مواد كيميائية مستخدمة فى انشائها وصيانتها ، والتى يمكن الإشارة اليها بصورة جامعة « بالأيضيات metabolites » ، وهى إما أن توجد متحللة فى ماء العصارة الخلوية وإما أن تظهر كترامات غير ذائبة أو خلال الخلية . وفى الأساس ، لا تمتلك الخلية شيئا آخر للخلية سوى أحماضها النووية وبروتيناتها وأغشيتها وأيضياتها .

ويمكن تلخيص الطبيعة الأساسية للحياة الخلوية كالآتى : يجب أن تستخدم الخلية المواد الأولية من البيئة المحيطة بها ، وتصنعها الى مواد كيميائية تحتاجها ، وتفرض النفايات غير المرغوب فيها ، وتعمل على دوام الآلية المركزية لتصنيع وصيانة البروتين . وتقوم الانزيمات بتحفيز كل خطوة كيميائية ، فى حين تتحدد بروتينات أخرى مندمجة فى غشاء الخلية ، ما يمكن أن يمر الى أية خلية ، وما يمكن أن يخرج منها . وتعتبر الخلايا ماكينات كيميائية معقدة بشكل عجيب ، بالرغم من دقة حجمها المقتضى ، « مكرسة » للحفاظ على نسخ د.ن.أ. الأساسى الخاص بها . وانشطتها لها تأثير أساسى واحد فقط : البقاء والتكاثر . وتعيش الكائنات الحية فترة من الوقت ثم تنقسم الى خلايا أكثر ، وهذه هى الطبيعة الأساسية للحياة .

الا ان هناك سمة واحدة حيوية من كيمياء الحياة ، لم نأخذها في الاعتبار بعد ؛ ما الذي يجعل الخلية تستمر ؟ فين الحق البعيد عنيد أكثر المستويات الأساسية ، يحتمل أن تتوقع الإجابة ، ألا وهي « تشتت الطاقة » ، وهذه هي الحالة بالفعل . فتماما مثلما يتختم على كل عملية كيميائية فردية أن تستمر في اتجاه تشتت الطاقة ، فكذلك تستمر الأعداد الضخمة من التفاعلات المتكاملة للحياة أيضا في نفس الاتجاه ، بسبب تشتت الطاقة . فالليل الحتمي للطاقة للاتجاه نحو التشتت ، يدفع حياتك قدما ، بنفس القوة التي يدفع بها انفجار الأكسجين والهيدروجين عند تكوين الماء .

فبعض التفاعلات الكيميائية التي تتم في الكائنات الحية ، تسير بالفعل في اتجاه تشتت الطاقة ، وعلى ذلك لا توجد مشكلة في فهم السبب في استمراريتها . الا ان الكثير من كيمياء الحياة ، يمكن أن يبدو من الوهلة الأولى ، وكأنه يسير في الاتجاه المعاكس . وما أقصده بهذا ، هو أن العديد من التفاعلات في الخلية ، تحول الطاقة المنخفضة للمواد الأولية غير المنظمة الى طاقة أعلى ومنتجات منظمة جدا . وهذا على الرغم من فكرة أن العالم المحيط بالكائنات الحية ، له محتوى قليل نسبيا من الطاقة ، بالمقارنة بما لدى الكائن الحي ؛ اذ يجعل الاتجاه الطبيعي لتشتت الطاقة متجها نحو الخارج بدلا من أن يتجه نحو الداخل . الا ان كيمياء الحياة لا تشذ عن القانون الفيزيائي والكيميائي . وبدلا من ذلك ، فالتفاعلات التي قد تبدو انها متجهة ضد انسياب تشتت الطاقة ، هي في الحقيقة ، عبارة عن جزء من تفاعلات أكبر ، تتحرك في اتجاه تشتت الطاقة على الاجمال .

ولنأخذ في الاعتبار مثلا محددًا . ال تصنيع بروتين من أحماض أمينية عديدة ، هو عملية تحتاج الى الطاقة . وبمعنى آخر ، فالطاقة الموجودة داخل تركيب البروتين أكبر من الطاقة الكلية المندمجة داخل الأحماض الأمينية الفردية . غير أن التفاعلات الكيميائية التي تربط الأحماض الأمينية ببعضها البعض ، ما هي الا جزء صغير من العملية الكيميائية المتكاملة التي تحدث في الجسم الريبي . وتتضمن تفاعلات أخرى من العملية مواد كيميائية عالية الطاقة ، تقجزا الى مسود كيميائية منخفضة الطاقة ، وتطلق هذه التفاعلات المزيد من الطاقة التي تكفي لدفع عملية صنع البروتين للأمام . ويمثل هذا قانونا عاما لكيمياء الحياة : تقترن بالتفاعلات المطلوبة للطاقة دائما تفاعلات أخرى مخرجة للطاقة ، ويعنى أن كليهما يجب أن يحدثا سويا ، وأن التفاعلات المخرجة

للطاقة ، تخرج دائما طاقة أكثر من الطاقة التي تطلبها التفاعلات المطلوبة للطاقة . وعلى ذلك ، يتضح كيف تستمر كيمياء الحياة دون أن تخالف قوانين الفيزياء والكيمياء . فالعمليات التي تعبرز الحياة ، تزدوج مع بعضها البعض في عملية كيميائية معقدة واحدة ، وتستمر هذه العملية في اتجاه تشتت الطاقة ، مثلها مثل أى شيء آخر .

ومن كل ما ذكرته حتى الآن ، يبدو من الواضح أن الخلايا تحتاج الى مورد من المواد الكيميائية ذات الطاقة العالية لكي تدفع قديما التفاعلات المطلوبة للطاقة . وهذه احدى الوظائف الأساسية للغذاء ، ولكن المواد الكيميائية المحتوية على الطاقة في غذائنا يجب أن نحصل على طاقتها من مكان آخر ، وفي النهاية ، فكل هذه الطاقة ، وكذلك كل الطاقات التي تدفع بكيمياء كل الحياة تأتي جميعها من الشمس .

والعملية الأساسية التي تؤدي الى حدوث كيمياء الحياة في النبات تسمى « بالتمثيل الضوئي photosynthesis » . ففي التمثيل الضوئي ، تستغل الطاقة التي تشعها أشعة الشمس عن طريق سلسلة معقدة من التفاعلات لتحويل ثاني أكسيد الكربون والماء الى مركبات عالية الطاقة تسمى بالمواد الكربوهيدراتية carbohydrates ، وتطلق غاز الأكسجين كأحد النواتج الثانوية ، بعد ذلك تقدم هذه المواد الكربوهيدراتية الطاقة لكل نشاط آخر . وفي أيجاز بسيط تصبح الطاقة متاحة عندما تتخذ المواد الكربوهيدراتية مع الأكسجين (الأكسجين الذي نتنفسه ، على سبيل المثال) ، لتتحول مرة أخرى الى ثاني أكسيد الكربون وماء . وعلى ذلك ، تعتمد كل صور الحياة على الطاقة التي تشعها الشمس ، فهذه الطاقة هي التي تمثل القوة الدافعة للكيمياء التي تخلق النباتات ، والتي تستخدم كمواد خام محتوية على الطاقة لغذاء الحيوانات ، التي بدورها تمثل مصدرا غذائيا لحيوانات أخرى .

وعلى ذلك ، وبصورة اجمالية ، فالحياة هي عملية كيميائية ، تدفع من خلال تشتت الطاقة القادمة من الشمس . وهي تمضي أوتوماتيكيا وبصورة حتمية ، كلما اصطدمت هذه الطاقة بالأرض ، وصعدت ببعض موادها الكيميائية الى التعقيد الكيميائي على الطاقة في العالم الحي .

التطور

EVOLUTION

ثمة شيء يعتبر واضحاً لاي انسان يعنى التفكير في طبيعة الحياة على سطح الأرض ؛ وهو ان الكائنات الحية تعيش فترة من الزمن ثم ينتهى اجلها ؛ ولكن اثناء حياتها تستطيع ان تنتج كائنات حية جديدة تعيش من بعدها . فالتكاثر والفناء يعتبران من السمات الأكثر وضوحاً في الحياة . والشئ الأمل وضوحاً ، على الرغم من انه مقبول ، هو انه مع مضي دورات الميلاد والحياة فالتكاثر ثم الموت ، تتغير طبيعة الكائنات الحية لآية جماعة على سطح الأرض تغيراً تدريجياً . ويفضل هذه التغيرات يمكن ان تبدو وتسلك الكائنات الحية في حقبة زمنية بشكل متغير تماماً عما كانت عليه الكائنات الحية من نفس جنسها ، والتي عاشت على سطح الأرض في عصور سابقة . وهذه التغيرات تدفع بالعملية التي يطلق عليها « التطور عن طريق الانتخاب الطبيعي » ، والتي تعتبر العملية الوحيدة المعروفة القادرة على تغيير بنية الكائنات الحية .

ولبحث قوانين التطور عن طريق الانتخاب الطبيعي ، يمكننا التحدث بمصطلحات غامضة جداً ، والنظر الى ما يجب ان يحدث بصورة حتمية « لأشياء » معينة ذات خصائص معينة ، بغض النظر عن كونها من صور من الحياة ام لا . وعلى ذلك ، تخيل مجموعة كبيرة من الأشياء — والتي لا يعنينا نوعها — على شرط ان تمتلك قدرة أساسية واحدة ؛ القدرة على استيلاد أشياء جديدة ، تكون مشابهة لها الى حد كبير ، ولكن تختلف عنها اختلافا طفيفاً . وافترض ان هذه الأشياء موجودة في بيئة تتوفر بها كل المواد الأولية المطلوبة التي تجعلها تولد كائنات جديدة ،

على الرغم من أن توفر هذه المواد الأولية محدود ، أو غائر ، غلبياً ،
وافتراض أيضاً أنه لا يوجد كائن من هذه الكائنات خالد سي فكل كائن
فرد سي موت حتماً في النهاية ، أما لأن وطائفة قد بدأت تعمل بصورة
غير سليمة ، أو اعتراه التمزق والبلل .. ماذا سيحدث لجماعة منها مع
مضي الزمن ؟ والاهلية البسيطة ، هي أنها سوف تتطور بفعل الانتخاب
الطبيعي .. والآن دعنا ندرس ماذا يعني هذا ..

ستد الكائنات الموجودة كثيراً من الكائنات المشابهة لها ، بالرغم
من عدم وجود كائنات متماثلان تمام التماثل ، حيث تكتج عملية التكاثر
دائماً أنماطاً متشابهة ، بينما تختلف اختلافات طفيفاً عن الكائنات
الموجودة . وكل كائن أصلي سيكون قادراً على تكوين سلسلة من
الأحفاد المنتسبة إليه . وسوف تموت الكائنات القديمة بصورة دورية
في الوقت الذي تولد فيه كائنات جديدة . وسوف يعتمد زيادة أو نقص
عشيرة من الكائنات الحية على الفرق بين معدل الوفيات ومعدل
المواليد .

ولما كان لا يوجد كائنات متماثلان ، فلا بد وأن يكون للبعض منها
ظروفاً أفضل في البقاء والتكاثر عن البعض الآخر . وبمعنى آخر ،
ستكون بعض الكائنات قادرة على البقاء لفترة أطول من كائنات
أخرى ، أو تتكاثر بصورة أسرع من كائنات أخرى ، أو تتمتع بكتلة
الخاصيتين . ولما كان النسل الناشئ من كل كائن يرث معظم صفات
آبائه ، فمع مضي الزمن ستزداد نسبة الكائنات الصالحة والمتكاثرة في
مجتمع الكائنات ، بينما تتناقص نسبة الكائنات الحية غير الصالحة أو
التي لم تستطع مقاومة الظروف السائدة . وبمعنى آخر ، فإن هذه
الكائنات الصالحة ، التي تتكاثر وتقاوم الفناء ، سوف تقوم بهذا .
سوف تعيش لفترات زمنية أطول ، وتلد مجموعة من الكائنات الأخرى
يمكنها أن تعيش لفترات زمنية طويلة ، وبدورها ستنجب مجموعة
كبيرة من النسل . وتلك الكائنات الضعيفة التي لم تستطع مقاومة
عوامل الفناء ، سوف تعيش لفترات زمنية محدودة ، وتلد أعداداً قليلة
من الكائنات التي سترث أيضاً الضعف من آبائها .

وعلى ذلك ، فاية جماعة من الكائنات المتكاثرة والمتغيرة تغيراً
طفيفاً ، سوف تصبح بالتدريج وبصورة حتمية غنية بالكائنات التي
تعيش لفترة أطول وتتكاثر بصورة أسرع من آبائها ، وتتفوق على
تلك الكائنات التي تعيش لفترات محدودة ، والتي يكون نسلها قليلاً .

وقد يكتب البقاء أيضا للكائنات التي تعيش لأجل قصير ، ولكنها تستطيع التكاثر بسرعة ، أو المتناسلات ببطء والتي تستطيع أن تعيش لفترة طويلة . . . فعاملا البقاء لزمن أطول وسرعة التكاثر يعتملان سويا في تفاعل معقد ، لتحديد كيف ستصبح أية سلالة من الكائنات لها السيادة ؛ لكن هناك شيئا واحدا مؤكدا دائما : هو أن الكائنات قصيرة العمر أو فقيرة النسل سيكتب عليها في النهاية الانقراض ؛ عندما تصبح للواد الأولية الضرورية للتناسل نادرة .

فأى انسيان يراقب وتحيره التغيرات التي تحدث في عشيرة ما على مدى أجيال عدة ، سيلاحظ في الحال أن هذه العشيرة كانت تتطور ؛ أي أصبحت بشكل متزايد غنية بالمزيد من الأشياء « الناجحة » ، حيث يقاس النجاح ببساطة على أساس القدرة على البقاء والتكاثر . . . فيبدو كما لو كانت عملية اختيار تدفع هذا التطور للأمام ، . . . يستبقى الصالح وتنحى الطالح . . . ولكن ليس لأحد دخل في عملية الانتقاء . . . فلا دخل لبشر أو قوة غيبية يد في مراقبة مجتمع الأشياء واختيار الصالح منه واستبعاد ما لا يصلح . . . ولا توجد هناك حاجة لهذا التدخل الخارجي ، لأن الأنواع الأفضل في البقاء والتكاثر ، سوف تختار بطريقة أوتوماتيكية وطبيعية كائنات سائدة للأجيال القادمة من الكائنات ، وذلك لأنها الأشياء الأكثر قدرة على البقاء والتكاثر . . .

والانتقاء الطبيعي ، هو ببساطة البقاء والتكاثر التفاضلي لتلك الأشياء الأفضل في البقاء والتكاثر . . . وبصورة آلية وبدون أي تدخل خارجي أو سحر أو شيء غامض ، يسمح لمجتمع الأشياء التي يمكنها أن تولد أشياء أخرى مشابهة ، لكنها عادة مختلفة اختلافا طفيفا ، بأن تستمر في التطور إلى مجتمعات من الكائنات ، أكثر كفاءة في البقاء والتكاثر . . .

ماذا لو تغيرت البيئة ؟ فقد ترتفع درجة الحرارة ، وتجعل الأشياء أكثر عرضة للقتل والموت ؛ وقد تتوافر بعض المواد الأولية الجديدة ، أو تندر بعض المواد الأولية التي كانت متوفرة من قبل ، وهلم جرا . . . ففي البيئة المتغيرة ، قد تصبح بعض الأشياء التي كانت ناجحة جدا ، من قبل فجأة في وضع أسوأ ، بينما قد تجد بعض الأشياء التي كانت عديمة الفاعلية من قبل ، والتي كانت توشك على الانقراض ، فجأة أن البيئة الجديدة تناسبها تماما . . . فمتطلبات هذا النجاح متغيرة ، وسوف يتكيف المجتمع بصورة آلية مستجيبا لهذا التغير ، فالأشياء

التي كانت ناجحة من قبل ، والتي لم تعد تستطيع أن تتكاثر ، تتناقص أعدادها وربما تنقرض . وبعض الأشياء التي كانت من قبل أقل نجاحا إلى حد ما ، قد تتكاثر فجأة ؛ ومن خلال المورد المستمر من الأشياء المتغيرة الجديدة ، فستبقى تلك المتغيرات الأفضل في البقاء والتكاثر في البيئة الجديدة وتتكاثر وتصبح ممثلة نسبة أكبر من محتلم الأشياء المتطورة .

وتؤثر التغيرات التي تحدث في البيئة بشكل مستمر على مجتمع الأشياء ، بينما تؤثر أنشطة الأشياء بشكل مستمر على البيئة . ويوجد تفاعل ديناميكي بين هذا المجتمع والبيئة ، يؤثر كل منهما ويغير الآخر . وهذا هو جوهر التطور بالانتخاب الطبيعي داخل مجتمع الأشياء . والآن يجب أن نتخلى عن فكرتنا المجردة عن الأشياء والتحول إلى الأشياء الحقيقية التي تؤثر في تطور الحياة ؛ وحيدة الخلايا ، ومتعددة الخلايا من النباتات والحيوانات ، التي تعتبر الكائنات الحية لهذا الكوكب . تخبرنا عقيدة البيولوجيا الحديثة أن هذه الكائنات الحية قد نشأت من أجيال سابقة عليها من الكائنات الحية ، من خلال عملية التطور التي يقودها الانتقاء الطبيعي . ويجب أن ندرس بعض التفاصيل البسيطة لامكانية حدوث هذا التطور .

من المؤكد أن بإمكان الكائنات الحية تولد كائنات جديدة ، تكون مشابهة لها إلى حد كبير ، غير أنها تكون مصحوبة ببعض التغيرات الطفيفة . وهذا ما يحدث في كل مرة عندما يتكاثر كائن حي ، وهو ما يعتبر مطلباً أساسياً للتطور عن طريق الانتخاب الطبيعي . فالكائنات الحية مشابهة لها ، بفضل قدرة الـ د.ن.أ. الحارزوني على القيام بعملية النسخ التي تخلق حارزونين مزدوجين وليدين . ويسمح نسخ الـ د.ن.أ. هذا بأن تتولد مجموعة العوامل الوراثية (الجينوم) لأحد الخلايا مجموعات عوامل وراثية تتطلبها خليتان ، والسماح للخلية الأصلية بأن تتضاعف بالانقسام إلى خليتين . وفي النهاية ، تسمح لمجموعة العوامل الوراثية لأحد البشر أو الحيوان أو النبات بأن تنتج مجموعات العوامل الوراثية لأجيال جديدة من النسل .

وعلى ذلك ، يعتبر نسخ الـ د.ن.أ. ، من العمليات الأساسية التي تسمح للكائنات الحية بأن تولد المزيد من الكائنات الحية ، ولكن أين يدخل التغير الضروري العملية ؟ سوف تكون مجموعات العوامل الوراثية للكائنات الحية بطريقة ما قادرة على القيام بالتغيرات المطلوبة

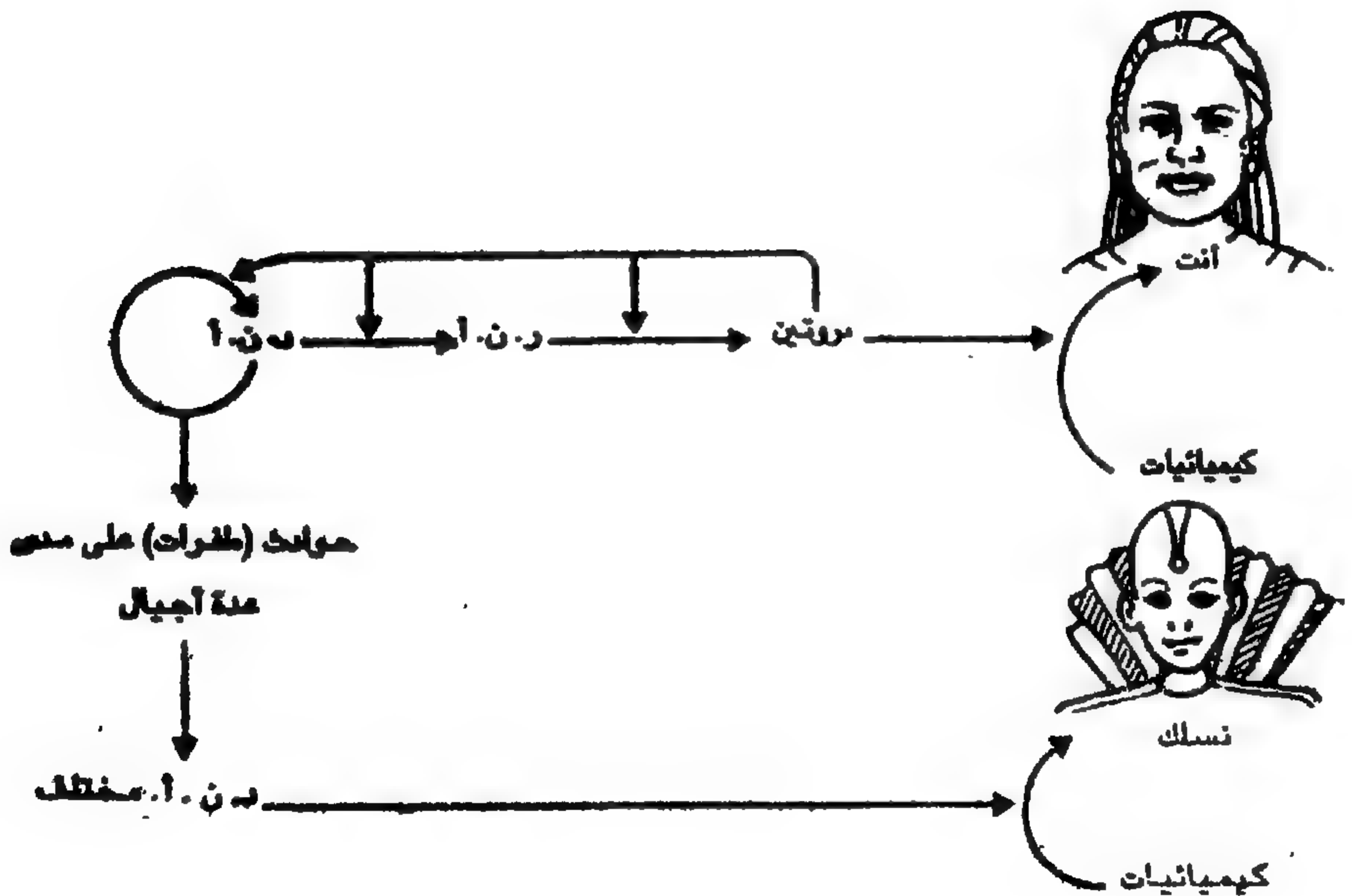
لأحداث التنوع الذى يعزز التطور . فإى تغير فى المادة الوراثية ، والذى يتعلق عادة تغيراً فى تركيب الـ د.ن.أ ، يمكن أن يوصف بأنه « طفرة mutation » . وهناك طرق عديدة مختلفة يمكن من خلالها أن تنشأ الطفرات . وتفكر أن مجموعة العوامل الوراثية للكائن الحى ، مضمجة فى التسلسل الذى ترتب به القواعد الأربع خلال د.ن.أ الكائن الحى . فالطفرات تعنى حدوث بعض التغيرات فى ذلك التسلسل القاعدى .

وتتضمن أبسط أنواع الطفرات تغيراً فى قاعدة واحدة . وقد يتضمن هذا استبدال القاعدة بأخرى مختلفة ، أو الغاءها من التسلسل القاعدى للـ د.ن.أ ؛ أو قد تضاف قاعدة جديدة . ويمكن أن تتولد الطفرات البسيطة من هذا النوع ، عن طريق تأثير المواد الكيميائية على الـ د.ن.أ ، أو عن طريق التعرض للإشعاع ، أو يمكن أن تنشأ من الأخطاء العشوائية التى تتم أثناء نسخ الـ د.ن.أ . فكيمياء الحياة ليست خالية من الخطأ .

والعديد من التغيرات الأخرى التى تنصب على المادة الوراثية ، تقوم بالتخفيف عليها أنزيمات عديدة ، ولكن يمكن اعتبار معظمها أخطاء عرضية تحدث نتيجة نشاط الانزيمات القادرة على قطع وإعادة غلق حلزونى الـ د.ن.أ ، تسمح مثل هذه الأحداث لقطاعات كبيرة من الـ د.ن.أ بأن تتضاعف أو تحذف أو تنقلب رأساً على عقب . وأحياناً يمكن أن تصبح بعض قطاعات الـ د.ن.أ طليقة تتجول بحرية لفترة قبل أن تعود وتندمج فى الـ د.ن.أ الرئيسى فى موقع مختلف . وكل من هذه العمليات تعمل على تغيير المادة الوراثية بصورة طفيفة ، عندما يورثها جيل لجيل آخر ، وتجعل تناسل الكائنات الحية يولد مخلوقات جديدة مشابهة جداً لأبائها ، لكنها مختلفة دائماً اختلافاً طفيفاً .

وهناك مجال آخر للتنوع يتوفر لمخلوقات مثلنا ، تتكاثر من خلال الاتحاد الجنسى للـ د.ن.أ من فردين . فعندما تتحد الخلية المنوية لذكر مع خلية البويضة لأنثى ، فإن الـ د.ن.أ من كلا الفردين يتحد

ليخلق مجموعة العوامل الوراثية لليويضة المخصبة التي تنمو وتتقسم لتولد طفلها . وعلى ذلك ، فنتاج التكاثر الجنسي للكائنات العنصرية ، يورث مادة وراثية من أبوين ، ويحدث هذا التوريث بطريقة ما بحيث أن نفس الأبوين يمكن أن ينجبا تنوعا غير محدود تقريبا من الأبناء المختلفين ، ويتوقف ذلك على أي أجزاء مادتهم الوراثية مسبرت إلى البويضة المخصبة .



شكل ١٤ - ١

الحياة الأساسية والتطور . يصنع الـ د.ن. ١ - جزئ الـ د.ن. ١ الذي يصنع البروتينات التي تحفز على خلق والمحافظة عليه ، بالإضافة إلى التحفيز على خلق والمحافظة على الـ د.ن. ١ . والـ د.ن. ١ والبروتين الخاص به . وتولد الأجيال القادمة من نسخ الـ د.ن. ١ ، الذي تحفزه البروتينات ، والطفرات المفيدة للـ د.ن. ١ ، تعطي الـ د.ن. ١ مختلفا ، وهو المطلوب من أجل السماح لصور مختلفة من الحياة بأن تتطور عن طريق الانتخاب الطبيعي .

ولا يتسع المجال هنا للخوض في تفاصيل كثيرة (وسوف تجد مزيداً من التفاصيل في أى كتاب عن أساسيات البيولوجيا) . وبالنسبة لكتابنا هذا ، تعتبر المبادئ الأساسية كافية ، والمبادئ الأساسية وراء تكاثر وتطور الحياة ، هي أن الكائنات الحية يمكن أن تتكاثر بفضل نسخ إلى د.ن.أ ، ويمكن أن تتطور مجتمعات الكائنات الحية لأن تركيب الـ د.ن.أ يمكنه أن يتغير لينتج أفراداً متنوعة جديدة ، لتوضع في محك اختبار الانتقاء الطبيعي (انظر شكل ١٤ - ١) . ويعتقد أن الانتقاء الطبيعي هو الآلية التي تسمح للفيزياء والكيمياء بأن تخلق الطبيعة المعقدة للحياة . فالتعليمات الأساسية التي تنشأ من خلالها الكائنات الحية ، تشفر في تسلسل من قواعد كيميائية ، مثله بالأحرف A و T و G و C . والتعديلات التي تطرأ على تركيب الكائنات الحية ، تماثل التغير الذي يحدث في التسلسل القاعدي للـ د.ن.أ الخاص بها ؛ فإذا خلقت هذه التعديلات كائنات عضوية أفضل في البقاء والتكاثر من الكائنات الموجودة ، ستتكاثر صور الكائنات الحية الجديدة ؛ وإذا خلقت التعديلات كائنات عضوية فقيرة وضعيفة ، فسرعان ما تنقرض .

وتلك هي آليات التطور . والآن دعنا نبحث في تأثيراتها الرئيسية .

نشوء الحياة

لا يعرف أحد على وجه التحديد ، كيف أو أين بدأت الحياة ، ولا أحد يعرف بالتفصيل كيف تطورت الحياة إلى صورتها الحالية . يعتقد معظم البيولوجيون المحدثون أن الحياة قد نشأت على سطح الأرض من مواد كيميائية بسيطة ، تشبه تلك الموجودة في صميم حياتنا اليومية ، ثم تطورت بعد ذلك تدريجياً من خلال الانتخاب الطبيعي . إلا أن معظمهم لم يكن لديه الوقت الكافي لبحث الدلالة وراء وجهة النظر هذه ؛ إنها الشيء الأقرب للثقة العمياء التي قد تجدها في العلوم الحديثة . ولا يستطيع أن أخوض في لغز الحياة هنا ، حيث لم يزل الأمر لغزاً ، وهذا الكتاب يبحث فيما هو معروف عن الطبيعة . فنحن نعرف أن الحياة وجدت على الأرض ، ونعرف الكثير عن الأمور التي تساعد على استمرار الحياة ، ونحن نتق تماماً في أن طبيعة الأشياء الخية تتغير بالتدرج من خلال عملية التطور التي يقودها الانتقاء الطبيعي . وأن أية محاولة لاستكمال النقص في تاريخ أصل وتطور الحياة ، يجب النظر إليها بشيء من الشك ، حيث أنها ستعامل مع أحداث في أزمنة غائبة في القدم ، لم يوجد أحد يشاهد عليها . ومع ذلك ، يعتقد البيولوجيون أن

باستطاعتهم الحصول على تفسير دقيق الى حد ما عن السمات الكبرى لتاريخ الحياة ، ودعنى الآن أقدم لك رواية سريعة جدا من غير نقد ، وسأتركك لتراجع اى كتاب آخر اذا ما رغبت فى تخمين افضل .

يعتقد معظم الكيميائيين والبيولوجيين أن الحياة قد بدأت منذ أن بدأت المواد الكيميائية تتجمع لتصنع المزيد من أمثالها . وكانت المواد الكيميائية المنتخبة المفضلة من المنتجات الأولى ، هي الأحماض النووية البسيطة المشابهة للـ د.ن.أ والـ ر.ن.أ الموجودة فى حياتنا الحديثة . ويفترض أن هذه الأحماض قد تكونت بصورة تلقائية من « حساء بدائى » فى الكوكب ، وكانت لها القدرة على تحفيز الكيمياء المطلوبة من أجل تكاثرها . ويعتقد بعض الناس أن المواد الكيميائية الأولى القادرة على صنع المزيد من جنسها ، قد لا يوجد لها مثيل فى الأحماض النووية الحديثة ؛ فى حين يتفق معظم الناس على أنه قد ظهرت فى النهاية الأحماض النووية التى استطاعت تشجيع نسخ نفسها ، حتى وإن كانت غير موجودة فى البداية .

وظهرت فى إحدى المراحل أنواع من هذه الأحماض النووية الأولى ، كانت قادرة على توجيه صورة من صور تصنيع البروتين ؛ وبعد ذلك ، تكونت الخلايا الأولى ، التى يفترض أنها كانت عبارة عن كتلة من الأحماض النووية القليلة والبروتينات المحاطة بغشاء ، وتشجعت على القيام بهذا العمل من خلال المواد الكيميائية الموجودة بداخلها . وكانت تأخذ المواد الأولية المطلوبة لدعم هذه الخلايا من البيئة ، وتستخدم بأقل قدر من التشغيل . حيث لم يكن العديد من الإنزيمات الموجودة فى الحياة الحديثة موجودا آنذاك . وكانت جميع التفاعلات الكيميائية التى تدعم الخلايا الأولية مؤهلة لأن تستمر بصورة تلقائية ، أو ربما كانت مقترنة بطرق بسيطة جدا بتفاعلات مؤهلة لذلك . وقد كانت الخلايا مدعمة الى حد بعيد ، بواسطة التفاعلات التى تتم بين المواد الكيميائية عالية الطاقة المجمعة من البيئة ، والتى ساعدت على تكونها طاقة أشعة الشمس ، أو حرارة الأنشطة البركانية أو التحلل الإشعاعى الطبيعى ، أو ربما الطاقة المنبعثة من الشهب عند اصطدامها بسطح الأرض .

ولما استمرت عملية التطور ، أخذت الأحماض الأمينية الموجودة فى داخل الخلية تنمو بصورة أطول وأعد ، وكانت قادرة على توليد العديد من البروتينات بدقة أخذة فى التزايد . وأخذت حمضيلة البروتينات فى التحسن ، من خلال تطور الجينات التى تشفر عنها ، وفى وجود حلفزات

عملية الكفاءة . وقد أصبحت قادرة على الاستفادة من المواد الأولية الموجودة في البيئة بطرق متزايدة في التعمق ، تسمح على سبيل المثال للطاقة الموجودة بداخل المواد الكيميائية في البيئة بأن تتجمع وتخزن في صور مواد كيميائية عديدة عالية الطاقة داخل الخلية ، إلى أن أصبحت كيمياء الخلية تحتاج إلى الطاقة .

وفي النهاية ، ظهرت بعض الخلايا ، التي سمحت لها بروتيناتها وأغشيتها وعمليات التمثيل الغذائي بأن تجمع قدرا من طاقة ضوء الشمس بصورة مباشرة وتستخدمها في تصنيع المواد الكيميائية عالية الطاقة ، مثل المواد الكربوهيدراتية ، ومن ثم اتجهت نحو كل التفاعلات المطلوبة للطاقة في الخلية — فقد بدأت عملية التمثيل الضوئي .

وقد حدث واحد من أهم التطورات التي شهدتها الحياة على الأرض ، عندما بدأت بعض الخلايا الأولية البسيطة في العيش داخل خلايا أخرى . بعد ذلك ، تطورت بعض من هذه الخلايا المتطفلة إلى جسيمات عضوية ، كالفتائل الخيطية ، أو الميتوكوندريا mitochondria (١) والجلديات اليخضورية chloroplasts (٢) ، الخ من تلك الموجود لها مثل في حياتنا اليومية .

وقد بدأت مرحلة هامة جدا أخرى ، عندما أخذت الخلايا تتفاعل مع بعضها البعض ، قبل البدء في تكوين نرية ، بدلا من انقسام الخلايا ببساطة إلى اثنين . وعندما اقترنت الخلايا ببعضها قبل التكاثر ، أصبحت قادرة على توليد نسل يحتوى على مادة وراثية مشتقة من كلا الأبوين ، وبذلك بدأت عملية التكاثر الجنسي .

وبعد فترة من الزمن من بداية الجنس ، وربما يرجع الفضل في ذلك إلى الاحتمالات المتزايدة للتنوع والتطور ، الذي كان الجنس سببا في ظهورها ، بدأت الخلايا في العيش بصورة دائمة مرتبطة ببعضها البعض في صورة كائنات حية أولية بسيطة متعددة الخلايا . واكتشفت الخلايا التي كانت من قبل تعيش معيشة فردية مستقلة ، مميزات الحياة الجماعية .

ويكشف سجل الحفريات كيف تنوعت وازدهرت الحياة متعددة الخلايا بصورة سريعة ، وفي هذا التطور بدأت عملية متزايدة « لتقسيم

العمل « بين الخلايا المختلفة ؛ فتخصصت بعضها في جمع الغذاء ، والأخرى في إعطاء الكائن الحي القدرة على الحركة ، وغيرها في الدفاع ضد الكائنات العضوية الأخرى ، وهكذا ..

وسرعان ما أصبحت المخلوقات متعددة الخلايا قادرة على تطويع أنسجة وأعضاء متميزة ، متخصصة من أجل مصلحة الكائن العضوى بصفة عامة . كما بدأت في تطويع تجويف جسمى متميز (البطن) ، الذي يحتوى على العديد من الأعضاء . وبدأت هذه الخلايا في تطويع هياكل خارجية صلبة أو هياكل داخلية وأعصاب وعضلات ، ساعدتها على السباحة فى الماء ثم الزحف على اليابسة . فقد كان الانتقال من مكان لآخر قاصرا على الحيوانات ، والذي جعلها تتجول باحثة عن غذائها من الحيوانات الأخرى أو النباتات . إلا أن النباتات قد عاشت ، لأنها تعلمت حيلة التمثيل الضوئى البارعة ، والتي ضمنت أن الحيوانات لا تستطيع الاستمرار فى العيش بدونها .

وقد انقضت عدة بلايين من السنين على التطور الذى قاده الانتخاب الطبيعى من أجل خلق مخلوقات عالمنا المعاصر ؛ وسوف تستمر العملية الارتقائية لى تشكل صورة الكائنات الحية فى المستقبل . وقد أمدت حتى الآن العالم بتنوع مدهش من الصور المعقدة من الحياة ، وبرغم ذلك ، فإنها تعتمد فى تصميمها على القدرة البسيطة للأشياء بأن تصنع أشياء أخرى شبيهة بها لكنها تختلف عنها اختلافا طفيفا .

ولكن ما هى الحياة ؟

فى هذا الفصل والفصل السابق ، قد استخدمت مصطلح « الحياة » ، على فرض أن كل انسان يعرف ويتفق على ما تعنيه الكلمة . ويعتبر هذا فرضا معقولا ، فكل ما نتطلبه هو بعض الفهم العام لما يقصد بالحي وما يقصد بالميت ؛ لكن الحياة هى جزء مهم من الطبيعة ، لدرجة أن تعريفها يجب أن يكون محددا تحديدا قاطعا يمنع اللبس . ولكن المشكلة أن الحياة تتأبى على التعريف القاطع ، على الأقل بالطريقة التى ترضى التصور البديهى للانسان بما تعنيه الحياة . ومن ثم فليس فى استطاعتى أن أجيب عن السؤال الموضوع على رأس هذه الفقرة ، لكنه من المهم أن نوجز المسألة بصورة مختصرة .

يشعر معظم غير العلماء أنه يجب أن يوجد تمييز واضح بين العالم الحي والعالم غير الحي ، لأن الاختلاف واضح بين الأشياء التى تتحدد

على أنها حية والتي تؤخذ على أنها غير حية . وقليل من الناس من يقول بأن الصخر كائن حي ، بينما يستطيع أن يتفق كل انسان على أنهم هم أنفسهم وقططهم الأليفة وحتى البرغوث الموجود على قططهم الأليفة، من المؤكد أن جميعها حية . غير أن هذا الوضوح ، قد نشأ من فحص الطرفين المتقابلين من الطبيعة . فكما أنه من الواضح أن السهل أرض منخفضة ، وقمة الجبل أرض مرتفعة ، فبنفس الوضوح يعتبر الصخر ليس حيا ، وأنا أحياء . ولكن عندما نتجه من السهل الى قمة الجبل ، فأين تنتهى الأرض المنخفضة ، لتبدأ الأرض المرتفعة ؟ معظم الناس يسعدهم أن يقرروا أن هذا سؤال سخيف لا جدوى منه ، فليست لديهم مشكلة في قبول أن الارتفاع والانخفاض هي مصطلحات نسبية غير قاطعة ، حيث لا توجد نقطة محددة ، يفسح عندها أحدهما المجال للآخر . وبالمثل ، فإن مصطلح الحياة غير دقيق . وحقيقة أن يجد العديد من الناس صعوبة في قبول هذا ، يوحى بأنهم يمانعون في الاعتراف « بأخوة » تجمعهم بالصخور والطين والأحجار ، كرفاق تجمعات من مادة صنع منها الكون .

وكل هذا لا يوحى بأنه لا يوجد تعريف قاطع يمكن أن يعطى لمصطلح الحياة ، فهناك تعريف مناسب تماما ، كما ستري ، ولكن لسوء الحظ ، فإنه يخلع لقب « الكائنات الحية » المشرف على ما ينظر اليه معظم الناس بالبدئية نظرة استعلاء ، على اعتبار أنها مجرد « مواد كيميائية » . فكل المخلوقات التي يقرها كل انسان على أنها حية دون سؤال ، يعتقد أنها مشتقة من كائنات حية أبسط منها ، أو حتى « أشياء » أبسط عن طريق عملية التطور . فالقدرة على التطور بالانتخاب الطبيعي ، هي التي سمحت للأشياء البسيطة بأن توجد الأشياء الحية المعقدة جدا التي نراها في عالمنا اليوم . وعلى ذلك ، فالتعريف الواحد البسيط للكائنات الحية التي يكون لها أية معنى ، هو القول بأن الكائنات الحية هي تلك الكائنات التي لها القدرة على التطور من خلال الانتخاب الطبيعي . وليس هذا التعريف هو الوحيد الذي قدمه العلم الحديث ، ولكنه الذي يعترف به على نحو متزايد بأنه الأفضل . وبكل أسى ، فهو يعنى أن بركة من الصخر الساخن في الأرض البدائية ، تحتوى على جزيئات من الحمض النووي ، قادرة على صنع الكثير من نفسها ، بفضل عملية الازدواج القاعدي المتنامية ، يمكن أن توصف بأنها تحتوى على حياة . والاستجابة البدئية والطبيعية لهذا التأكيد ، هي أن يهز أحد رأسه ويقرر أن تعريفنا عن الحياة يجب أن يكون تعريفا خاطئا ، حيث لا تحتوى بركة الصخر بوضوح الا على مواد كيميائية تشارك بطريقة عمياء في

التفاعلات الكيميائية ، المشتقة فقط من القانون الفيزيائي ، وهنا توجد عقبة : ان أى تعريف للحياة ، يبدو أنه سينقص من مكانتها ، وبالتالي مكانتنا ، من كائنات نبيلة تفكر بحرية الى مجرد مواد كيميائية متفاعلة وفاعلة . وهناك حلان لهذه المعضلة : إما ان نقر بأننا مجرد ابداعات من تفاعلات كيميائية ؛ وإما ان نبحث عن ملجأ فى غموض ميتافيزيقى يختفى عن عيننا الفاحصة . خذ اختيارك ، أو اختر الجلوس محتاراً على قارعة الطريق (مثلما أفعل أنا) ؛ ولكن على الأقل ، تقبل أن الحياة هى مصطلح غامض وغير دقيق وذو نفعية محدودة .

وفكرة واحدة أخيرة عن السؤال عما هى الحياة بالضبط ؟ . فكر فى الإجابة « وما أهمية ذلك » ؟ فالأشياء التى نختار تسميتها أشياء حية ، سواء أكانت نجوماً أو صخوراً أو نباتات أو بشرًا أو أى شئ آخر ، من الواضح أنها جميعها موجودة ، وتتغير ، وتتفاعل . ان التغير والتفاعل البينى هو الذى يهم ، وليست الطرق التى نختارها لوصفها وتصنيفها ، والتى يمكن أن تتغير كلما تطورت معارفنا عن الكون .

المخ

BRAIN

كل واحد منا هو عقل واع . فنحن ندرك أننا موجودون ، ويمكننا أن نسترجع ذكريات الماضي ، ونتصور آمالاً ومخاوف من المستقبل ، ونفكر أفكاراً مجردة ؛ ومع ذلك فلا يعرف أحد حقيقة هذا النشاط العقلي أو كيف نشأ . فأياً كانت طبيعته فهو يعتمد على المخ . فقد تجرح إحدى أقدامنا أو إحدى ساقينا أو نستغنى عن إحدى رئتينا أو حتى يستبدل قلبنا بقلب صناعي جديد ، وسوف لا يؤثر أى من هذا ولا ذاك تأثيراً مباشراً على عقلنا ؛ في حين أن إصابة المخ يمكن أن تغير بشكل مباشر من أفكارنا وذكرياتنا وطبيعتنا الذاتية التي نحن عليها . ويبدو من المؤكد أن العقل الذي هو كل ما نحن عليه بالفعل قد نشأ من المخ ، أو يعتمد على الأقل جداً عليه ، من أجل وجوده ونشاطه . ويسعد بعض الناس تبسيط الأشياء عن طريق إبطال مفهوم العقل ويعلنون بأن كل واحد منا هو مخ واع — كتلة من كيمياء متكاملة تدرك بطريقة ما وجودها . ويشعر البعض الآخر بثقة أن العقل هو شيء أسمى وأكثر تميزاً عن المخ — ربما يكون جزءاً من المجالات الروحانية الغامضة في الكون التي لا يعرف العلم شيئاً عنها . ومع ذلك ، أياً ما كان الموقف العقلي الذي يتخذه المرء ، فسوف يصل دائماً إلى نفس النتيجة : نحن لا نعرف شيئاً جوهرياً عن الطريقة التي يسمح بها تركيب المخ وأنشطته بأن يدرك وجوده وأن يفكر .

وبطبيعة الحال ، لا يعنى هذا أننا لا نعرف شيئاً عما يجري بداخل المخ . فهناك قدر كبير من المعلومات معروفة عن خلايا المخ وخاصة خلاياه العصبية ، والأحداث التي تجري بداخلها وتصاحب عمل العقل .

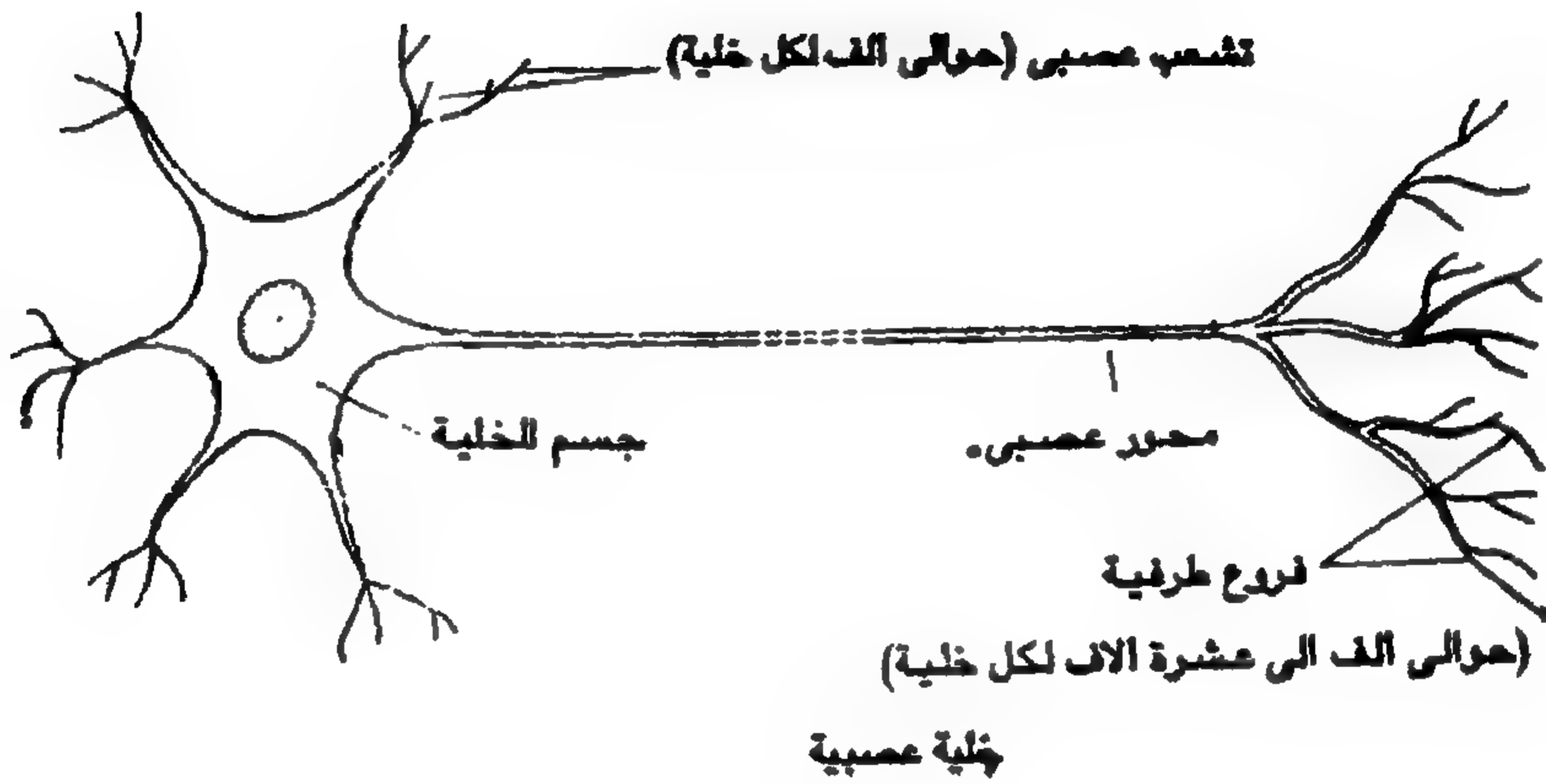
ومع ذلك فما نعرفه هو تفاصيل تنقصها معرفة شاملة . فنحن كمن يستطيع رؤية أعداد كبيرة من المصابيح التي تومض على شاشة تحكم ماكينة معقدة ، ويستطيع حتى أن يسبر غور ما بداخل الماكينة لدراسة أسلاكها ودوائرها الكهربائية ، ولكنه لا يستطيع تكوين فكرة حقيقية عن كيف تؤدي هذه الأنشطة إلى أن تقوم الماكينة بتنفيذ مهمتها على الوجه الصحيح .

ومن خلال هذا التحذير ، سنقوم بالقاء نظرة سريعة داخل ماكينة المخ لنفحص الخلايا العصبية التي يعتقد أنها أكثر عناصره حيوية . يحتوى المخ على كثير من الخلايا العصبية . ويحتوى أيضا على العديد من أنواع الخلايا الأخرى ، لكنه يعتقد أن هذه الخلايا الأخرى تلعب أدواراً مدعمة لمساعدة الخلايا العصبية التي تهتم في المقام الأول . ويبدو أن ما تقوم به الخلايا ، هو الاتصال ببعضها البعض وتؤثر في أنشطة بعضها البعض ، من خلال مرور موجات من النشاط الكيميائي فيها وبينها . وتعرف الاشارات الشبيهة بالموجة بـ « النبضات العصبية » ، ويبدو المخ وكأنه ماكينة تركز كل جهدها لتوليد وتوحيد السيطرة على النبضات العصبية . فالأنماط المتغيرة من النبضات العصبية تجيء وتذهب داخل تركيب المخ ، ونتيجة لذلك ، ينشأ بطريقة ما وعى من تلك الأنماط ؛ وهذا الوعى يرى ويسمع ويشم ويشعر ويفكر ويتذكر ويخطط من أجل المستقبل . وهذا ، على الأقل ، هو التخمين الأفضل للعلم الحديث عن الصلة بين النشاط العصبى والعقل .

تتنوع الخلايا العصبية الى حد كبير فى أشكالها وتركيبها ، لكن لها « جسم خلية » رئيسى ، وعديد من امتدادات عنكبوتية من جسم الخلية تعرف بـ « التشعبات العصبية dendrites » وطرف طويل يعرف بـ « المحور العصبى axon » ، يتشعب بعد ذلك الى امتدادات عنكبوتية أخرى تعرف بـ « الفروع الطرفية terminal branches » للمحور العصبى (انظر شكل ١٥ - ١). والتشعبات العصبية هي الأجزاء الرئيسية للخلية ، التي تستقبل الاشارات الكيميائية من الخلايا الأخرى، فى حين أن الفروع الطرفية ، هي الأجزاء التي تمرر الاشارات الى الخلايا الأخرى . وتعتبر أية خلية عصبية مستقبلاً ومعالجاً ونقلًا للاشارات الكيميائية .

وتنتج الاشارات العصبية عن طريق الحركة المحركة والمدعمة للأيونات خلال غشاء الخلية العصبى ، مسببة تغيرات فى توزيع الشحنة الكهربائية بين ما بداخل وخارج الخلية . والمواد الكيميائية التي تتحكم فى

حركة الأيونات خلال الغشاء ، هي بروتينات معينة ؛ ويجب أن ندرس خمسة أنواع من البروتينات ، لكي نكتسب فيها علما عن كيفية عمل الخلايا العصبية .



شكل ١٥ - ١

خلية عصبية

ويسمى أحد أنواع البروتينات بمضخة الصوديوم / البوتاسيوم ، ($Na^+ / K^+ pump$) ، لأنها تتحكم في تدفق أيونات الصوديوم (Na^+) وأيونات البوتاسيوم (K^+) خلال الغشاء . وتوجد جزيئات هذا البروتين مدمجة في غشاء الخلية العصبية ، حيث يمكنها الارتباط بأيونات الصوديوم داخل الخلية ونقلها للخارج ، بينما ترتبط أيضا بأيونات البوتاسيوم

خارج الخلية وتنقلها لداخل الخلية . وعلى ذلك ، بشكل اجمالي ، فان هذه المضخة تقوم بضخ أيونات الصوديوم الى خارج الخلية وأيونات البوتاسيوم الى داخلها (انظر شكل ١٥ - ١٢) .

٤

وهناك بروتين آخر مندمج في أغشية الخلايا العصبية ، ويعرف بقناة تسريب أيونات البوتاسيوم (K + leak channel) ، الذي يسمح لبعض أيونات البوتاسيوم بالتسرب خارج الخلية ، بطريقة أسرع من السماح لأيونات الصوديوم بالتسرب للداخل . وعلى ذلك ، فالنتيجة النهائية لنشاط كل من هذين البروتينين ، هو تكوين طبقة من المحلول خارج غشاء الخلية موجبة الشحنة ، بالنسبة لطبقة العصارة الخلوية الموجودة بداخل الخلية ؛ وذلك أساسا لأن قناة تسريب البوتاسيوم تجعل أيوناته تتسرب للخارج دون السماح بعدد مساو من أيونات الصوديوم بأن تتسرب للداخل . وتمتلك أغشية كل الخلايا هذه الشحنة غير المتزنة ، التي تكون موجبة الشحنة قليلا بالخارج وسالبة الشحنة نسبيا بالداخل (١) ، وتستغل أغشية الخلايا العصبية هذه الخاصية استغلالا خاصا .

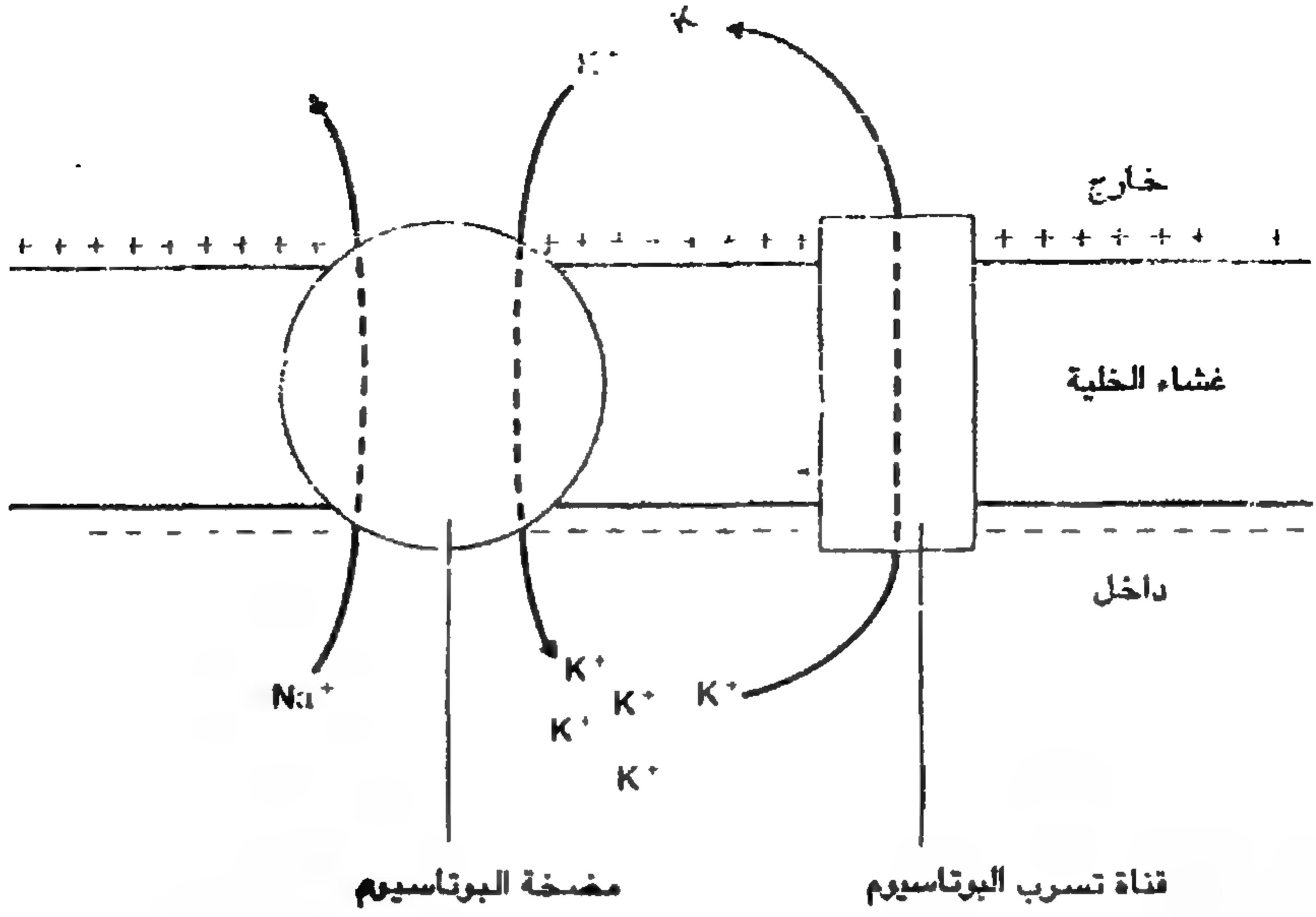
وتبدأ النبضة العصبية عندما تفرز مادة كيميائية تعرف بالناقل العصبى Neurotransmitter (والتي يوجد منها أنواع عديدة مختلفة) من إحدى الخلايا العصبية لترتبط بالبروتينات «المستقبلة» Receptor Proteins المندمجة في غشاء خلية عصبية أخرى (انظر شكل ١٥ - ٢ ب) . وكنتيجة لارتباط الناقل العصبى بالمستقبل ، فإن البروتين المستقبل يخضع لتغير في تركيبه ، بحيث يسمح لأيونات معينة (غالبا الصوديوم) بالمرور خلاله . ويترتب على دخول تلك الأيونات الموجبة أن تتعادل مع الشحنة السالبة الموجودة داخل غشاء الخلية .

وهناك جزيئات بروتينية أخرى مندمجة في أغشية الخلية العصبية، تعتبر حساسة لمثل لهذا التغير في توزيع الشحنات . واستجابة للفقد في عدم توازن الشحنة ، تكابد هذه البروتينات الأخرى تغيراً شكلياً ، ينجم عنه فتح ثقب صغير لأيونات جديدة من الصوديوم لكى تمر خلاله لفترة وجيزة ، ثم يغلق مرة أخرى بسرعة . وأثناء فتح هذا البروتين ، تنساب أيونات الصوديوم الجديدة بدرجة معينة تكفى لعكس عدم اتزان الشحنة الطبيعي في المنطقة المحيطة بالغشاء ، وتجعل ما بداخل الخلية في هذه المنطقة مشحوناً بشحنة موجبة بدرجة أكبر من الشحنة السالبة بالنسبة لخارج الخلية . وتترصع جزيئات هذا البروتين الرابع على فترات منتظمة على غشاء الخلية العصبية ، بحيث أن التأثير

السريع لفتح احدها ، يجعل الجزيئات المجاورة له تفتح ، عند استجابتها لفقد عدم الاتزان الطبيعي للشحنة الذى حدث نتيجة فتح الجزيء المجاور لها . ذلك ، فان ارتباط ناقل عصبي مع بروتين مستقبل في خلية عصبية ، هو بدء نبضة تغير كهروكيميائي ، التي تنتقل بسرعة على طول الخلية العصبية . والتأثير الرئيسى لهذا التغير يكون لصالح سيل دافق من عدم اتزان شحنة في الاتجاه المعاكس (تقنيا ، انعكاس القطبية) ينتشر على طول الغشاء . وهذه الموجة من عدم اتزان الشحنة المعكوسة المندفعة على طول غشاء خلية عصبية ، هي الإشارة الكهروكيميائية التي نسميها بنبضة عصبية .

وفي الواقع ، تنتشر النبضة العصبية على هيئة « نبضة » من قطبية منعكسة ومركزة في منطقة محددة تسرى عبر غشاء الخلية ، اما خلف هذه المنطقة فان القطبية تعود لسابق عهدها ، من جهة لأن البروتين الناقل ينتهى عمله بمجرد قدح النبضة وانتشارها ، فينفصل عن المستقبل ، ومن جهة أخرى لأن اغلاق بوابة الصوديوم في المنطقة سيعطى الفرصة للبروتينين : لمضخة الصوديوم والكالسيوم ، ولقناة تسريب البوتاسيوم لاعادة الوضع كما كان عليه .

وهذا عرض عام موجز بقدر الامكان لماهية النبضة العصبية ، وكيف تخلق ؛ ولكن كيف يؤدي مرور نبضة على طول احدى الخلايا الى قدح نبضة في خلية أخرى متصلة بها ؟ عندما تصل نبضة عصبية الى فرع طرفي لها ، فانها تقابل نوعا آخر من البروتين المندمج في الغشاء . وهذا البروتين يسمح بمجرد وصول النبضة له لأيونات الكالسيوم (Ca^{2+}) بالدخول الى الخلية . وتغير أيونات الكالسيوم هذه من كيميائية « أكياس » دقيقة مرتبطة بأغشية (والتي تسمى تقنيا ، حويصلات) ، موجودة بداخل نهاية الخلايا العصبية ، تحتوى على كثير من جزيئات البروتين الناقل . ويحدث هذا التغير أغشية الحويصلات لتندمج مع غشاء الخلية بطريقة تسمح للجزيئات الناقلة العصبية بأن تنطلق في فراغ بين الخلايا العصبية المتصلة ، التي تعرف بـ « المشبك Synapse » بين الخلايا . وتنتشر الناقلات العصبية خلال المشبك ، وترتبط بالبروتينات المستقبلية المندمجة بغشاء الخلية العصبية على الجانب الآخر للمشبك ، وبذلك تحدث على نبضة عصبية لتنتقل خلال الخلية العصبية التالية . وهكذا يمكن أن يحدث نقل النبضات على طول احدى الخلايا على نقل النبضات على طول جميع الخلايا الأخرى المتصلة بها هذه الخلية العصبية .



جزئيات المرسل العصبي ترتبط
بالبروتينات المستقطبة جاعلة هذه
البروتينات تسمح بالأيونات الموجبة أن
تدسري إلى داخل الخلية وتمحو
استقطاب الغشاء في المنطقة المجاورة

نتيجة لإزالة استقطاب الغشاء تسمح
بروتينات القناة لأيونات الصوديوم
الموجبة بالمرور عبرها، مما يؤدي إلى:
عكس القطبية في المنطقة المجاورة،
ويؤدي عكس القطبية في منطقة ما
إلى فتح قناة الصوديوم في المنطقة
المجاورة، مما يؤدي إلى انتشار موجة
من عكس القطبية في غشاء الخلية

حينما تصل النبضة العصبية إلى
الفرع الطرفية فإنها تحفز بروتينات
الغشاء على السماح لأيونات
الكالسيوم بالدخول في الخلية، وهذه
بدورها تحفز الأوعية العاروية على
جزئيات المرسلات العصبية على
إطلاقها لتتوسط به خلية الخلية

شكل ١٥ - ٣

ملخص لأهم سمات خلق ونقل نبضة عصبية

وما ذكرناه هنا يعطى فكرة عن جوهر النشاط العصبى ، ولكن كما قد تتوقع ، فهناك الكثير من الملاحظات والتعقيدات . فمعظم الخلايا العصبية الفردية تتلقى اشارات من العديد من الخلايا العصبية الاخرى فى نفس الوقت ؛ وهى ايضا تمر اشارات عبر ناقلات عصبية الى عديد من خلايا عصبية اخرى . وهناك الكثير من أنواع الناقلات العصبية المختلفة ، وبينما يؤدى البعض منها الى قدح النبضة بالطريقة التى ذكرناها سابقا ، فالبعض الآخر قد يؤدى الى كبحها . وعلى ذلك ففى حقيقة الامر ، تعمل الخلية العصبية مثل ماكينة اقتراع كيميائية دقيقة . وقرارها هو القدح ، أو منع القدح ، أو القدح غالبا أو نادرا ، ويعتمد نتيجة ذلك « التصويت » الكيميائى على أصوات العديد من الاشارات المتصارعة أحيانا التى تستقبلها من الخلايا الأخرى . وبالنسبة لمعظم الخلايا العصبية ، فمن المحتمل أن يكون معدل القدح هو الناقل الحقيقى للمعلومات العصبية ، وليس نبضة بعينها . وهناك تعقيدات وملاحظات وخفايا عديدة الى حد بعيد جدا يصعب الكشف عنها فى كتاب كهذا ؛ لكنه من المهم أن نقرر أنها جميعا تتضمن تأثيرات كيميائية ليس الا ، مشابهة لمعظم التأثيرات الحيوية التى ذكرناها سابقا ، وجميعها قابلة للشرح والتفسير على أساس التفاعلات البيئية والتفاعلات بين المواد الكيميائية اثناء انتقالها واصطدامها مع بعضها البعض وتدافعها وتجاذبها بواسطة القوة الكهربائية وميل الطاقة للانتشار نحو توزيع أكثر استواء .

وعلى ذلك ، فحتى عندما ندرس أكثر الأشياء تعقيدا والمعروفة لنا — أمخاخنا الحية — فكل ما نجده هو كيمياء تعززها الفيزياء ، وتتكامل فى صورة شبكات متفاعلة من المواد الكيميائية ، التى نصنفها كنظم بيولوجية . ولا يعنى هذا أن أسراراً اعماق لا تنتظر الاكتشاف ، أو ربما ستظل محجوبة للأبد عنا . وكما قلت ، فمن المؤكد أن العلم لا يستطيع أن يقدم تفسيراً مرضياً ، أو حتى وصفاً عن نشأة العقول الواعية من خلال الظواهر الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التى نجدها داخل المخ . فكل ما وجد بالمخ ، لا يعدو أن يكون شبكة معقدة جدا من الخلايا العصبية المتصلة ببعضها البعض ، التى تمرر النبضات العصبية على طولها ، وتمرر عدداً متنوعاً من الاشارات الكيميائية الى الخلايا العصبية الأخرى ، التى تشجع أو تمنع أو تغير بطريقة أخرى النبضات التى تمر بطول هذه الخلايا العصبية الأخرى ، والفرض العام للمؤسسة العلمية ، هو أن الوعى بكل احساساته العقلية وأفكاره وتفكيره ، هو ما يحدث (بطريقة ما !) داخل أى مخ عندما تقوم شبكته العصبية بأنماط

محددة ومن غير شك معتدة جدا من القدح . ويظل هذا الفرض بدون اثبات ، وربما يكون فرضا خاطئا .

عندما « نتذكر » شيئا ما ، يفترض أن مخنا يولد نمطا من نشاط عصبى ، يشابه بطريقة قاطعة النمط الذى أحدثته تجربتنا الاولى عن الشيء الذى نتذكره . وتعتمد معظم نظريات الذاكرة على الآليات الجزيئية ، التى قد تسمح باستعادة نمط النشاط العصبى ، أو نمط مشابه . وعلى ذلك ، فالشيء الذى حدث ذات مرة فى أمخاخنا ، سيكون احتماله أكثر حدوثا مرة أخرى عن شيء لم يحدث من قبل ؛ ويمكننا أن نشجع بطريقة ما على تكرار القيام بالنشاط العصبى السابق ، لى يظهر فى رؤوسنا عندما نستدعيه .

والنظريات التى تبحث فى نشأة النشاط العقلى والذاكرة كثيرة ، وسوف تساعدك بعض الكتب المخصصة على استكشاف هذه النظريات، اذا كانت لديك الرغبة فى ذلك ، الا أن الحقائق نادرة . فلا يوجد شيء عن التفاصيل الخفية لعقولنا وأفكارنا التى تهبط بها الى مستوى العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية .

واحدى السمات المهمة لعقولنا التى لم يستطع العلم حتى الآن أن يساعدنا فيها ، تتعلق بالارادة الحرة ، التى يعتقد معظمنا أنه يمتلكها ؛ الحرية فى تقرير عمل هذا الشيء أو ذاك ، أو فى التفكير فى هذا الشيء أو ذاك ، دون أن تملى علينا الكيمياء فقط ما يجب أن نقوم به . وربما السؤال الأكثر أهمية الذى يواجه البشرية ، هو ذلك السؤال الذى يسأل عما اذا كانت ارادتنا الحرة حقيقية أم وهما ، ولكن للأسف فهذا السؤال لم يجد أحدا يستطيع الاجابة عنه . وحين كانت الحتمية الشمولية هى المسيطرة على العلم ، بدت آمال الارادة الحرة قاتمة بالفعل ، الا اذا اشتملت على بعض الظواهر اللافيزيائية والروحانية ، التى تحررت من الفيزياء الحتمية . وكان لظهور ميكانيكا الكم ومبدؤها عدم اليقين أثر فى احياء الأمل للعديد من المؤمنين بالارادة الحرة ، بافتراض أنها تركت مجالا للعقل لاختيار احتمال من سلسلة من احتمالات ميكانيكا الكم باحدى الطرق الغامضة . ومرة أخرى ، فالنظريات كثيرة، لكنها لم تبد بعد مقنعة ، ولن يكون من المناسب التعمق فى بعض المسائل هنا . وقد تأتى الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا جميعها سويا فى النهاية لتقدم لنا أفكارا عميقة عن كيفية توليد أمخاخنا لعقولنا الواعية ، لكنه من المستبعد تماما أن تقوم بهذا فى الوقت الراهن . وفى استعراض لمعظم معارفنا الأساسية عن الطبيعة ، فمن المناسب أن نصف العقل بأنه غرفة الطبيعة الداخلية المختفية ، لم تستكشف أسرارها بعد .

أشياء غامضة

MYSTERIES

لقد اعتدنا على أن نعجب بانجازات العلم ، والفهم المتعمق والقدرة على استغلال العالم الطبيعي الذي جاءت به الطريقة العلمية للبحث والاستنتاج . وقد عرض هذا الكتاب وجهة نظر شاملة لأساسيات الطبيعة التي كشف عنها العلم ، واقترح بمراجعة الكتب الأكثر تفصيلا لتكوين فكرة واضحة عن الطبيعة وموقفنا الحرج منها . ومع ذلك ، وبرغم اعجابنا بانجازات العلم ، الا أنه من السهل أن يغيب عن أعيننا الكثير من الأسئلة التي لا تزال غامضة ؛ والتي غالبا ما نتوق للإجابة عنها . وعلى ذلك ، فلنكمل الخمسة عشر فصلا التي امتدحت فيها انتصارات العلم ، فإني أود أن أعيد التعادل من خلال ملخص سريع لبعض الأشياء الغامضة الرئيسية التي لا تزال موجودة . وللقيام بهذا ، فسوف أتبع نمط الكتاب بشكل مجمل ، بادئا بأساسيات الفيزياء والكونيات (الكوزمولوجيا) ، ونتقدم بعد ذلك نحو دراسة الأشياء الغامضة الرئيسية التي تواجه البيولوجيا في الوقت الحالي .

فكل شيء يحدث في الكون ، كل الفيزياء ، كل الكيمياء ، كل البيولوجيا ، تحركها عملية « انحلال » للكون ، تعرف اصطلاحا بالزيادة في الانتروبيا ، وبتعبير دارج نحو العشوائية الناتجة عن الاصرار المستميت على تشتت الطاقة . وتعطى عملية الانحلال هذه اتجاهها لـ « سهم الزمن » الذي يقودنا للأبد نحو المستقبل ، ويمنع أي عودة إلى الماضي ، وبالفعل فهو الذي يجعل المستقبل مختلفا عن الماضي ؛ ولكن ما الذي تسبب في « شحن » الكون أصلا ؟ من أين جاءت

طاقته المنظمة والمركزة (حالته المنخفضة الانتروپيا الأولية) ؟ هذا ما يوصف بأنه الغموض الرئيسى للفيزياء ، وبدون اجابة له لا نستطيع التظاهر بأننا نفهم الكون الذى صنعنا منه . وقد اقترحت العديد من الاجابات الممكنة ، ولكن لم يبد أى منها بعد مقنعا بصورة كاملة ، او قد تم وصفه بصياغة رياضية قوية مناسبة .

ونحن لا نعرف المصير النهائى للكون ايضا . هل سيستمر فى التمدد للأبد نحو مستقبل سرمدى من البرودة الميتة ، أم سينهار على نفسه فى صورة « انسحاق عظيم » ، قد يتلوه انفجار عظيم جديد ، وبداية جديدة ؟ ويبدو أن الكتلة الكلية للكون ستكون المحدد الحاسم لهذا المصير . فاذا زادت عن قيمة معينة ، حينئذ فسوف يتسبب شدها الجذبي المتبادل فى النهاية فى جذب كل شىء نحو الداخل الى انسحاق عظيم . واذا لم توجد كتلة كافية ، سيكون التمدد السرمدى حينئذ نحو عدم بارد هو مصيرنا . والقيمة الحقيقية لكتلة الكون ليست معروفة بعد ، وتجرى الأبحاث على قدم وساق لتحديد ها .

كما ستظل الطبيعة الحقيقية للفضاء الفارغ (أو بالتحديد الزمكان) ايضا غموضا محيرا . فقد رأينا أن الفضاء بالنسبة للفيزيائيين ليس عدما ، لكنه ظاهرة ذات تركيب عميق وخفى . كم عدد الأبعاد الموجودة فيه ؟ هل هو كينونة مستمرة أو متكون من شبكة من النقاط المتقاربة المتميزة ؟ هل كل الجسيمات وكل القوى ، هى مجرد نتائج الفتل واللى الغامض فى الزمكان ؟ وتعتبر الاجابات عن هذه الأسئلة أمرا حاسما لآى فهم كامل للطبيعة ، لكنها لا تزال اجابات مجهولة .

فى الفيزياء الحديثة ، تتمتع جميع الأشياء التى تبدو أنها جسيمات وجميع الأشياء التى تبدو أنها موجات ، بكل من خواص الموجات والجسيمات ، ويوصف سلوكها بواسطة نظرية ميكانيكا الكم . الا أن رياضيات ميكانيكا الكم ، لا يمكن أن تخبرنا بيقين مؤكد ، ماذا يفعل نظام فيزيائى ، أو ماذا سيفعل فى المستقبل . والتفسير الاصطلاحي للاجراءات الرياضية لميكانيكا الكم ، هو أنها لا تكشف الا عن المعلومات الاحتمالية الاحصائية عن كون ، يبدو متبلورا من العديد من الاحتمالات عندما نخبره كل مرة ؛ فى حين توجد تقسيمات أخرى منافسة وأشياء غامضة كثيرة تكتنف حتى وجهة النظر التقليدية . ويرى بعض الفيزيائيين أن نظرية الكم ليست كاملة ، وعندما تكتمل ، فقد تلغى عناصرها الاحصائية الاحتمالية . وعلى ذلك ، ما هو التفسير

الصحيح لميكانيكا الكم ، تلك النظرية التي لا تزال تعطينا وصفا أفضل حتى الآن عن العالم المتناهي الصغر ؟ وهل هناك تطورات أخرى مطلوبة حتى يكتمل هذا الوصف ؟

وهناك شيء غامض آخر يتعلق بميكانيكا الكم ، هو أن تجارب الفيزياء الأساسية قد كشفت عن أن هناك روابط أو ارتباطات رياضية غامضة بين الجسيمات المتباعدة عن بعضها البعض بعداً كبيراً ، بحيث أن شيئاً يمر بينها سيحتاج الى التحرك بسرعة أكبر من سرعة الضوء ، ليكون مسئولا عن التأثيرات المرصودة . ولدى الفيزيائيين مبرر قوى لرغض ما هو أسرع من الضوء ، وعلى ذلك ، ماذا تعنى هذه التجارب بالنسبة لطبيعة الكون والاتصالات بين أجزائه ؟ وما التفسيرات التي يمكن أن تقدمها عن هذا الغموض ؟

لقد بحث هذا الكتاب عن التبسيطات التي تقع في صميم كل تعقيد الكون ، بينما تظل تفاصيل التعقيد موجودة منتظرة الحل . كيف ، على سبيل التفصيل لا الاجمال ، تخرج النظم المعقدة من تفاعل الأجزاء البسيطة ؟ فقد حاول الناس طوال عدة قرون استجلاء فهم العمليات الطبيعية عن طريق اختصارها الى أجزائها البسيطة ، التي تعمل في ظروف بسيطة . وقد ترك هذا الأسلوب العديد من المسائل الغامضة بدون حل ، والمتعلقة بالنظم المعقدة . وبدأ علم الهيسولى الناشئ في اماطة اللثام عن شيء من طبيعة التعقيد ، لكننا بعيدون عن فهم حقيقي لمعظم الظواهر المعقدة المحيطة بنا وبداخلنا .

وهناك اشياء غامضة أيضا في العلم الأساسي ، الكيمياء ، لكنها ليست جوهرية بنفس الدرجة كتلك الأشياء الغامضة التي تواجه الفيزيائيين والبيولوجيين . فالكيميائيون لديهم رغبة ملحة في معرفة المزيد عن الآليات الدقيقة التي تؤدي لاستمرارية التفاعلات ، عن الخطوات المعقدة الدقيقة التي تتبعها الالكترونات والنوى ، فيما وصفته بـ « الرقصة الجنونية » . وهناك أيضا نظريتان مختلفتان نوعا ما أو نماذج تستخدم لوصف الطبيعة الدقيقة للروابط الكيميائية ، تعرف احداها بمدخل « الرابطة التكافؤية Valence bond » ، وتعرف الأخرى بمدخل « الحيز المداري الجزيئي Molecular orbital » . والتنافس بين هذين المدخلين لا يؤثر على الاطار الأساسي للروابط الكيميائية التي ذكرت في هذا الكتاب ، حيث يركز هذا الاطار على المبادئ الأساسية التي يشترك فيها الاثنان ؛ لكنه من الصحيح القول بأن الكيميائيين لا يزال

ينقصهم وصف رياضي واحد بصورة مرضية عن التفاصيل الكاملة للروابط الكيميائية .

واذا ما انتقلنا الى البيولوجيا ، فسوف تواجهنا مشكلة ، كيف نشأت الكائنات العضوية الكبيرة ، متعددة الخلايا كالانسان من خلايا وحيدة . فنحن نعرف أن هذه العملية التطورية ، تتحدد من التفاعل بين جينات الخلية الأصلية والبيئة المحيطة بها ، بينما لا نعرف سوى القليل جدا بالتحديد عن كيف نشأ مخلوق على قدر من التعقيد كالانسان نتيجة التفاعل بين الخلايا . وحتى في عصر الهندسة الوراثية ، وعصر أطفال الأنابيب ، فلا يزال الكثير مما يحدث في الرحم يكتنفه الغموض .

وعندما نبحث داخل أمخاخنا ، التي نعتقد أنها السبب في عقولنا ، فلا يمكننا أن نجد شيئا سوى خلايا حية تتكون من مواد كيميائية . ونحن نعرف الكثير عن الطريقة التي تمرر بها هذه الخلايا الاشارات الكهروكيميائية بينها ، لكننا لا نعرف شيئا عن الطريقة التي تخلق بها عقولنا الواعية ، بافتراض أنها تقوم بذلك . وأن نفهم ، أو على الأقل بشيء أكثر بقة لكى نصف ، مصدر الوعي ، هو بالتأكيد التحدى النهائى الذى يواجهنا . وربما يكون تحديا مستحيلا ، لكننا يجب أن نقبل على الأقل ، أن العلم لا يمكنه أن يخبرنا في الوقت الراهن عن أى شيء جوهري عن كيف يتحقق الوعي ، ثم الإدراك الذى يتبدد بمرور الزمن .

وتعتبر ظاهرة الذاكرة المرتبطة بلغز العقل ، لغزا آخر ، ولو أنه يمكن فهمها بطريقة أسهل من مشكلة الوعي . فالمخلوقات البسيطة التي نعتبرها مخلوقات واعية ، تبدي تأثيرات معقدة وقوية للذاكرة . وقد بدأت الأبحاث في الكشف عن بعض غموض الذاكرة في هذه المخلوقات البسيطة ، وقد تلقى النتائج بعض الضوء على الغموض الذى لا يزال قائما عن طبيعة وأصل ذاكرتنا .

والتفكير في العقل ، يعيدنا أيضا الى المشكلة الأساسية حول الإرادة الحرة : فالسؤال عن كيف تسمح لنا قوانين الفيزياء الصماء بأخذ قرارات ، أو بمعنى آخر ، تجعلنا نحظى « بإرادة حرة » — أم تراها تقوم بذلك حقا ؟ ستكون الاجابة عن هذا السؤال مرتبطة بالطبع بالإجابة عن غموض الوعي ، لكن هناك شيئين غامضين . فمن حيث المبدأ ، فقد ينشأ الوعي إما مع إرادة حرة حقيقية متاحة ، أو مع مجرد وهم بالإرادة الحرة مرتبط بخليط متشابك من الاحتمال والحتمية .

فنحن لا نعرف ما اذا كانت ارادتنا الحرة الظاهرية ، ارادة حقيقية أم وهما ، ومن الصعب جدا علينا اكتشاف الحقيقة .

والتطور هو مجال يمكن أن يتوقع فيه الغموض ، حيث حدثت معظم الأجزاء الأكثر أهمية من تطور الحياة عندما لم يكن هناك من هو على قدر من الذكاء لكي يدرسها ويقدم شهادة يمكن الاعتماد عليها . وكشفت الأبحاث الحديثة في البكتيريا عن القدرة المحيرة — على ما يبدو — على انتاج طفرات معينة استجابة لمطالب محددة . وهذا يتناقض مع العقيدة الراسخة ، بأن الطفرات التي تقود التطور طفرات عشوائية ، أو على الأقل غير موجهة نحو متطلبات سابقة الوجود ، فربما آلية قوية للتطور ، تنتظر من يكتشفها .

وبطبيعة الحال ، كان أصل الحياة الشرارة الأولى للتطور ، وبرغم السنوات العديدة من الأبحاث والتأمل ، فقد ظلت الطريقة التي بدأت بها الحياة لأول مرة مسألة غامضة . ولا توجد لدينا دلالة مؤكدة ، فيما اذا كانت الحياة التي انحدرنا منها ، قد نشأت لأول مرة على الأرض أو في مكان آخر . ولا نعرف المسارات الكيميائية ، التي يفترض أنها جعلت خليطاً من مواد كيميائية بدائية تتفاعل فيما بينها وبين المواد الكيميائية الأخرى لكي تخلق النظم التكاثرية والتطورية الأولى ، المطلوبة لوضع الحياة في مسارها الصحيح . وهناك نظريات يعتقد فيها بصورة قوية ، لدرجة أن الكتب المدرسية الأولية غالباً ما تقدمها وكأنها حقائق مثبتة ، غير أن النظريات تتغير مثلما تتغير الثقليعات جيئة وذهاباً ، ويظل كل شيء بلا اثبات ، وغالباً لا يدعمها الا قدر ضئيل من التجارب .

ونحن لا نعرف أيضاً ما اذا كنا الوحيدين في هذا الكون ، أم أن الكون يكتظ بكائنات بأعداد وفيرة تعيش خارج نطاق الأرض في عوالم أخرى . وقد بدىء بالفعل في البحث عن آثار هذه الحياة خارج كوكبنا .

وبالرجوع الى الأشياء التي تسير سيرا غير طبيعي معنا عندما تتدهور حالتنا الصحية ونموت ، فالأسباب الحقيقية التي تسبب العديد من الأمراض ، تظل الى حد ما غامضة ؛ السرطان وأمراض القلب وحالات العته العديدة على سبيل المثال لا الحصر . ولا يزال الغموض أيضاً يكتنف طبيعة بعض الأمراض المميتة التي تسببها عوامل معدية لا تزال طبيعتها غامضة . وقد أطلق عليها « الفيروسات البطيئة » أو « بريونات » أو « فيرونسات » ، والتي مازالت لا يعرف عنها شيء ،

أو عن طبيعة عملها على وجه الدقة . وقد انتشرت (في بريطانيا ، على الأقل) كسبب لمرض الدماغ البقري الاسفنجى الشكل (BSE)، والذي يعتقد أن له علاقة بمرض مشابه يصيب الأغنام ويسمى مرض الدماغ الحموى الاسفنجى ، والذي انتقل الى الماشية نتيجة استخدام لحم الأغنام النيء وفضلات غذاء الماشية . وللعوامل المسؤولة عن مرض الدماغ البقري ومرض الدماغ الحموى الاسفنجى ، علاقة بأعراض مرض * (Creutzfeld- jacob) يصيب البشر ، وأمراض أخرى مشابهة قد تمثل فئة جديدة تماما من العوامل المعدية ، قد تكون مسؤولة عن العديد من الأمراض المهلكة البطيئة المفعول ، والتي لا تزال مجهولة الأسباب .

وأخيرا ، فالموت هو الحقيقة المؤكدة في المستقبل لكل واحد منا ، ولكن ما السبب في أن أجسامنا تشيخ ثم تموت ؟ يأخذ بعض البيولوجيين بوجهة النظر التي تقول بأننا « مبرمجون على الموت » من خلال عمل الجينات ، التي تطورت عن طريق الانتقاء الطبيعي . ويعتقد البعض الآخر بوجود تدهور كيميائى عشوائى ، ويلقون باللوم على القانون الثانى للديناميكا الحرارية ، الذى يجعل أجزاء مهمة منا تبلى وتفقد موضعها فى شبكة التفاعلات المعقدة التي تجعلنا على قيد الحياة . وهناك نظريات كثيرة ، تدعمها بعض البراهين ، لكن سيظل هناك زمن طويل قبل أن نفهم بشكل كامل هذه الظاهرة الأخيرة للحياة .

لذا لا يجب أن ندع أى انسان يقتنعنا بأن العلم قد أوشك على الانتهاء ، أو أن كل شيء تقريبا كان من الواجب معرفته قد عرف ، كما يحاول البعض الاقناع به . فإذا عدنا للوراء وعددنا الانجازات جنبا الى جنب مع الأشياء الغامضة التي لم يتوصل العلم لحلها ، فربما يكون من الأسهل أن نستنتج أن العلم لا يزال يخطو خطواته الأولى .

وهناك من غير شك جدول أعمال مكثف جدا بالأمور الغامضة التي تنتظر أن يطبق عليها الأسلوب العلمى ونحن نخطو نحو مشارف القرن الحادى والعشرين . لقد اكتشفنا الكثير عن الطبيعة ، ولدينا الكثير من الانجازات التي نفخر بها ، بينما يظل هناك الكثير والكثير يتطلب الكشف عنه وكثير من الجهود يجب أن تبذل .

انتهى بحمد الله وعونه

١٩٩٧/٥/١٠

(*) مرض يعقوب : اعتلال دماغى فتاك متقدم ويحدث بصورة نادرة ، ويتسبب فى نمو خسيج مخ مسامى وعته مبكر فى منتصف العمر ، وفقد تدريجى فى التماسك العضلى - (المترجم) .

هوامش

هوامش الفصل الأول

(١) المقصود هنا النسبية الخاصة التي وضعها أينشتاين عام ١٩٠٥ ، وهي تتعامل ، كما يشير المؤلف حالا ، مع السرعات المنتظمة ، أى السرعة الثابتة في خط مستقيم ، أما السرعة المتغيرة ، فمجالها النظرية النسبية العامة ، والتي وضعها عام ١٩١٦ وتناولت بالتالي الجاذبية والكون ككل ، على ما سيأتى في فصول لاحقة - (المراجع) .

(٢) يشير المؤلف الى اسحق نيوتن واضع علم الميكانيكا في القرن السابع عشر ، وسيرد اسمه كثيرا في الكتاب - (المراجع) .

(٣) ظهر صدق كافة تنبؤات نظرية النسبية المشار اليها والتي سيرد غيرها في الفصول التالية في التجارب التي أجريت على الجسيمات الذرية ، حيث أنها تستطيع أن تتحرك بسرعات تقارب سرعة الضوء - (المراجع) .

(٤) الاسم الذي كان يطلق على كلية الهندسة وقتها - (المراجع) .

هوامش الفصل الثاني

(١) المقصود هو الكتلة التي تحدد بالنظرية النسبية طبقا لمعادلات الكتلة لها - (المراجع) .

(٢) يسمى هذا الاقتراح « مبدأ ماخ » ، نسبة للعالم الفيزيائي ماخ ، والذي له تنسب وحدة سرعة الصوت - (المراجع) .

هوامش الفصل الثالث

(١) تعرف الأبحاث التي تهدف لتوحيد قوى الطبيعة بأبحاث « المجال الموحد » ، - (المراجع) .

هوامش الفصل الخامس

(١) اللفظتان السابقتان أوردهما المؤلف على سبيل الدعابة - (المراجع) .

هوامش الفصل السادس

(١) تسمية « البوزونات » نسبة الى العالم الهندي « سائندرا بوز » أما الصنف الآخر من الجسيمات فيطلق عليه « الفرميونات » نسبة للعالم الايطالى « انريكو فيرمى » ، « ما بعد أينشتين » ، ص ١٤٢ . ترجمة الدكتور فايز فوق الإعادة الناشر : أكاديمية - (المراجع) .

(٢) يقول فيرمى مقتدرا : « لو استطعت تذكر كل هذه الأسماء ، لأصبحت عالما فى علم النباتات » . أما أوبينهايمر فيقتدر بدوره ، مقترحا أن تعطى جائزة نوبل « لمن لا يكتشف جسيما جديدا هذا العام » - (المراجع) .

(٣) يشير المؤلف لما يعرف بنظرية « الوتر الفائق Superstring » راجع « ما بعد أينشتين السابق الإشارة اليه - (المراجع) .

هوامش الفصل السابع

(١) يظهر نمط التداخل الموجى على صورة عدة دوائر متحدة المركز ، ومتبادلة بين الضوء والعتمة ، وهى ظاهرة قد تكون مألوفة حتى فى حياتنا اليومية بالنسبة للضوء - (المراجع) .

(٢) اقترح هذا التفسير ، وبالتالي التسمية ، الفيزيائى ماكس بورن ، أما التسمية التى اقترحها دى بروين فى الأصل فكانت « الموجات المادية matter waves » - (المراجع) .

(٣) الشكل الهىولى هو الشكل غير محدد الملامح ، والفرق بين مصطلحي Random و ترجمته « عشوائى » و Chaotic الذى نفضل ترجمته « هىولى » فرق دقيق ، ولكن تجدر الإشارة اليه ، فالسلوك الهىولى هو - كما جاء بالمتن - سلوك محكوم بقواعد حتمية بسيطة (كحركة ذرة غبار فى فضاء الحجرة ، فهى خاضعة لقوانين نيوتن الثلاثة للحركة) ومن ثم فهو من حيث المبدأ قابل للتنبؤ به ، لولا الصعوبات العملية ، أما السلوك العشوائى فهو من حيث المبدأ غير قابل للتنبؤ به (كحركة شخص شمل) - (المراجع) .

(٤) هذا المثال هو ما ضربه أينشتين كتجربة ذهنية لدحض مفهوم عدم اليقين فى نظرية الكم ، ولكن التجربة العملية المشار اليها ، والتى أجريت بعد سنوات من وفاته كانت ضده - (المراجع) .

هوامش الفصل التاسع

(١) لتصوير كم هو شاسع هذا الفراغ داخل الذرة ، يقال انه لولا هذا الفراغ لما أمكن رؤية الانسان الا تحت المجهر - (المراجع) .

(٢) يجب التفرقة بين وقوع كلمة Orbital كصفة مشتقة من Orbit بمعنى مدار ، وتعنى مساراً محدداً لجسم حول آخر ، كمدار الأرض حول الشمس ، أو الإلكترونات في النظرية الكلاسيكية للذرة ، وبين كلمة Orbital كاسم ، ويعبر عن منطقة احتمال لوجود جسيم فيها ، طبقاً لفكرة النظرية الكمية من أن الجسيمات دون الذرية لا يمكن النظر اليها على أنها تحتل أماكن محددة في الفراغ ، أسوة بالأجسام المرئية ، وقد وردت ترجمة المصطلح الثانى في معجم أكاديميا للمصطلحات العلمية « مدارى » (كاسم وليس صفة مشتقة من مدار) ، وقد تترجم تعريباً « أوربيتال » ، أما معجم المصطلحات العلمية للخطيب فأوردها بترجمة « حجم مدارى » ، وهى أقرب من الترجمة التى أوردها ، وادعى لعدم اللبس بين الكلمة كاسم وكصفة - (المراجع) .

(٣) يعرف هذا المبدأ بمبدأ « باولى للاستبعاد » Pauli Exclusion Principle - (المراجع) .

(٤) وردت هذه الترجمة التى نفضلها فى « المورد » ، وقد ذكرت فى معجم أكاديميا « المستوى الحضيضى » وفى معجم المصطلحات للخطيب « حالة الخمود » - (المراجع) .

(٥) يتسع الغلاف الثالث لعدد ١٨ الكتروناً كما يتضح من الشكل ٩ - ٥ ، ومع ذلك فبمراجعة الجدول الدورى نجد أن الدورة الرابعة تبدأ بعنصر الكالسيوم (رقم ١٩) بعد عنصر الأرجون (رقم ١٨) والذى يحتوى فى غلافه الأخير (الثالث) على ثمانية الكترونات فقط ، وكان المتوقع أن تستمر الدورة بعده حتى يكتمل الغلاف الثالث ، بحيث لا تبدأ الدورة الرابعة الا بعد العنصر ٢٩ . السبب فى ذلك ، بالإضافة للسبب المذكور فى المتن ، هو أن الغلاف الأخير فى أية دورة لا يقبل الا ثمانية الكترونات ، مهما كان اتساعه ، ويكون العنصر فى هذه الحالة فى أقوى حالة استقرار ، وهذه القاعدة مستمرة فى كل الجدول الدورى . وما أن يصل الغلاف الأخير الى هذا الرقم حتى تبدأ دورة جديدة ، ولذا فإن جميع العناصر التى فى المجموعة الأخيرة (الخطب أناسى الأخير الأيمن) ، والتى تتميز بوجود ثمانية الكترونات فى أغلفتها الأخيرة ، هى من الغازات الخاملة التى لا تتحد بغيرها ، نظراً لحالة الاستقرار التى نكرتها ، وهذه الغازات هى على الترتيب من أعلى المجموعة لأسفلها : الهيليوم (٢) ، النيون (١٠) ، الأرجون (١٨) ، الكريبتون (٣٦) ، الزينون (٥٤) ، الرادون ، وهو غاز مشع (٨٦) . - (المراجع) .

هوامش الفصل الحادى عشر

(١) ينطق الحرف « سيجما » ، وهو حرف اغريقى ، وتسمى الرابطة « الرابطة سيجما » ، وهناك روابط أخرى تسمى بأحرف الاغريقية أيضا مثل دلتا وبأى ٠٠ الخ - (المراجع) .

(٢) يفسر هذا الميل بالتالى : تمثل العناصر فى أقصى اليمين من الجدول الدورى (مجموعة الغازات الخاملة ، راجع تعقيبا فى الفصل التاسع) حالة استقرار مثلى ، وذلك حين يكون الغلاف الخارجى محتويا على ثمانية الكترونات ، ومن ثم يمكن النظر لهذه العناصر على أنها فى حالة « أرستقراطية » بين العناصر (تسمى بالفعل فى بعض الكتابات بالغازات النبيلة) ولبقية العناصر ميل شديد الى تقليد هذه الحالة . وعناصر مجموعة الفلزات لها فى الغلاف الأخير عدد قليل من الالكترونات (من واحد الى ثلاثة) ، وحيث أن الغلاف قبل الأخير يحتوى على ثمانية الكترونات ، فيتخلى العنصر الفلزى عن الكترونات الغلاف الأخير يصبح فى الحالة الأرستقراطية المنشودة . أما اللافلزات فالوضع بالنسبة لها معكوس ، فهى تحتوى على عدد كبير من الالكترونات فى غلافها الأخير ، ومن ثم فإن بها ميلا الى اقتناص الكترونات من عناصر أخرى تكمل بها غلافها لثمانية الكترونات . ويفسر ذلك الميل للتفاعل بين الفلزات واللافلزات كما ذكر فى حالة الصوديوم والكلور ، فالرابطة الأيونية هى فى الواقع « صفقة » ترضى كلا الطرفين - (المراجع) .

هوامش الفصل الثانى عشر

(١) بمعنى آخر ، ترحيل عن النقطة الدنيا للطاقة ، وهى نقطة استقرار الجزيئات المنفردة - (المراجع) .

(٢) لهذا السبب تقسم التفاعلات الكيميائية الى تفاعلات « طاردة للطاقة » ، كحالة تكوين الامونيا المشروحة ، وتفاعلات « ماصة للطاقة » ، كالحالة العكسية ، تحلل غاز الامونيا - (المراجع) .

هوامش الفصل الثالث عشر

(١) نبذة عن الأجزاء التي لم يتعرض لها الكتاب بالشرح : جهاز جولى : مجموعة من الفجوات على هيئة حزم يعتقد أنها مخزن لبعض أنواع البروتينات - الميتوكوندريا : أجسام خيطية هي مركز إطلاق الطاقة ، وفيها يتم أكسدة الغذاء - الليسومات : جسيمات تحتوى على تركيز عال من الانزيمات الهاضمة - الشبكة الاندوبلازمية : أغشية دقيقة مزدوجة تشبه غشاء الخلية ، تعمل كدعامة للسيتوبلازم ، ومنطقة لبناء البروتينات تتكاثر الريبوسومات بها - (المراجع) •

(٢) معجم أكاديميا للمصطلحات العلمية والتقنية - (المراجع) •

(٣) مترجم في المعجم السابق « المجموع المورثى » - (المراجع) •

(٤) تترجم أحيانا « رامزة » ، معجم أكاديميا - (المراجع) •

(٥) توجد ثلاثة كودونات معبرة عن أمر التوقيف ، موضحة في جدول شكل ١٣ - ٨ باسم Stop ، بينما لم يذكر المؤلف شيئا عن الكودون المثل لبدا البروتين ، وهو الكودون AUG ، وهو المقابل للحمض الأميني ميثونين ، ومبين في الجدول بالرمز Met ، وبه تبدأ كافة التراكيب البروتينية - (المراجع) •

هوامش الفصل الرابع عشر

(١) فتائل في سيتوبلازم الخلية تعتبر مصدرا لإطلاق الطاقة وفيها تتم أكسدة الغذاء - (المراجع) •

(٢) عضية تحتوى على اليخضور (الكلوروفيل) - (المراجع) •

هوامش الفصل الخامس عشر

(١) نذكر بأن الأيونات هي ذرات ناقصة بعض الإلكترونات ، ومن ثم فهي موجبة الشحنة ، وهو ما يمثله الرمز + في الرمز الكيميائي للأيون ، ومعنى أن عددا من الأيونات يكون خارج الخلية أكبر من داخلها ، أن الشحنة الخارجية تكون موجبة عن الداخلية ، وهو ما يعنى أن الشحنة الداخلية تكون سالبة بالنسبة للخارجية • والمصطلح التقنى لعدم التعادل هذا هو « القطبية Polarization » ، والتعادل الكهربى يعنى محو القطبية ، وعكس القطبية يعنى أن تكون الشحنات الموجبة في داخل الخلية أكبر منها خارجها - (المراجع) •

مسرد المصطلحات مرتبة حسب الأبجدية اللاتينية

Activation energy	طاقة تنشيط
Adenine	أدينين
Amino acids	أحماض أمينية
Atomic number	عدد ذرى
Atoms	ذرات
Base-pair	ازدواج قاعدى
Bases (of DNA OR RNA)	قواعد (د.ن.أ أو ر.ن.أ)
Big bang	انفجار عظيم
Big crunch	انسحاق عظيم
Bond	رباط
Bosons	بوزونات
Catalyst	حفاز
Cell membrane	غشاء الخلية
Cell	خلية
Chaos	هيوالية
Charge	شحنة
Chromosome	كروموسوم
Conzyme	انزيم مساعد ، مشارك ، تميم
Covalent bond	رابطة تساهمية
Cytosine	سيتوسين
Cytoplasm	عصارة خلوية ستيوزول
Dendrite	تشعب عصبى
DNA	د.ن.أ

Double-helix	حلزون مزدوج
Electric charge	شحنة كهربية
Electromagnetic radiation	اشعاع كهرومغناطيسي
Electromagnetic force	قوة كهرومغناطيسية
Electron	الالكترون
Electronegativity	سالبيه كهربية
Electroweak force	قوة كهروضعيفة
Elements	عناصر
Energy	طاقة
Entropy	انتروبيا
Enzyme	انزيم
Equilibrium	اتزان
Evolution	تطور
Expression of genes	صيغة جينية
Force	قوة
Fundamental forces	قوة أساسية
Gene	جين
Genetic code	شفرة وراثية
Gluon	جلونات
Gravitational force	قوة جاذبية
Gravitons	جرافيتونات
Ground state	الحالة الأرضية ، حالة الخمود — الحالة الدركية
Guanine	جوانين
Heat	حرارة
Higher organism	كائن حي راق
Hydrogen bond	رابطة هيدروجينية
Inertia	قصور ذاتي
Interaction	تفاعل

Interference	تداخل
Ionic bond	رابطة أيونية
Ions	أيونات
Kinetic energy	طاقة حركة
Light	ضوء
Lower organism	كائن حي بدائي
Mass number	عدد كتلي
Mass	كتلة
Messenger RNA (m RNA)	ر.ن.أ رسول
Metabolism	ايض، تفاعل حيوي، استقلاب
Metabolites	أيضات
Metalic bonds	روابط معدنية
Molecular orbital	حيز مداري جزيئي
Molecule	جزيء
Momentum	كمية تحرك
Mutation	طفرة
Natural selection	انتخاب طبيعي
Nerve impulse	دافع عصبي
Nucleic acids	أحماض نووية
Organelles	عضيات ، جسيمات عضوية
Orbital	حيز مداري (أو ربتيال)
Particles	جسيمات
Periodic table	جدول دوري
Photons	فوتونات
Photosynthesis	تمثيل ضوئي
Plank's constant	ثابت بلانك
Polar covalent bond	رابطة تساهمية استقطابية
Potential energy	طاقة وضع

Proteins	بروتينات
Proton	بروتون
Quantum fluctuation	اضطراب كمى
Relativistic mass	كتلة نسبية
Rest mass	كتلة سكون
Ribosomal RNA (rRNA)	ر.ن.أ ريبيوسومى
Ribosome	جسيم ريبى
RNA	ر.ن.أ
Spacetime	زمكان
Speed	سرعة
Strong nuclear force	قوة نووية قوية
Thymine	ثايمين
transfer RNA (tRNAs)	ر.ن.أ ناقل
Van der Waals bonds	روابط فان دير وولز
Velocity	سرعة اتجاهية
Virtual particle	جسيم تقديرى
Wave-packet	حزمة موجية
Weak nuclear force	قوة نووية ضعيفة
Work	شغل

مسرد المصطلحات مرتبة حسب الأبجدية العربية

هذا ملخص للمصطلحات الفنية المستخدمة في هذا الكتاب ، من خلال السياق الذى استخدمه فيه الكتاب . وهناك عدد قليل من المصطلحات يمكن استخدامها بطرق عديدة أخرى في سياقات مختلفة . وقد أعد المسرد حتى يكون وسيلة مساعدة بسيطة للقراء عند قراءتهم لموضوعات الكتاب .

حرف أ

اتزان — Equilibrium

الحالة التى يستقر فيها تفاعل كيميائى قابل للانعكاس ، عندما تصبح معدلات التفاعلات الأمامية والعكسية متساوية . ويستمر التفاعل الكيميائى ساريا ، ولكن دون أن تتغير المقادير الكلية للمواد المتفاعلة أو نواتج التفاعل .

أحماض أمينية — Amino acids

الوحدات البنائية الكيميائية البسيطة لجميع البروتينات . وهناك عشرون حمضا أمينيا مختلفا متاحا تتكون منها البروتينات ، وتوجد فيها متصلة ببعضها البعض في سلاسل طويلة من « تسلسلات أحماض أمينية » معينة .

أحماض نووية — Nucleic acids

مواد كيميائية تتكون منها المادة الوراثية للحياة — د.ن.أ و ر.ن.أ. تتكون جميع الأحماض النووية من مواد كيميائية تسمى نكليوتيدات متصلة ببعضها البعض في سلاسل طويلة . وكل نكليوتيد يتكون من مجموعة السكر والفوسفات ، التى تشكل العمود الفقري لسلسلة الحمض النووى ، والقواعد المتصلة بهذا العمود الفقري .

أدينين — Adenine

احدى القواعد الموجودة فى الـ د.ن.ا والـ ر.ن.ا. وهى تتزاوج مع قاعدة الثامين فى د.ن.ا ومع قاعدة يوراسيل فى ر.ن.ا ، لتكونا الأزواج القاعدى ، A - T أو A - U .

ازدواج قاعدى — Base-pair

قاعدتان متتامتان من قواعد د.ن.ا ، أو ر.ن.ا متماسكتان ببعضهما البعض بقوى الجذب الضعيفة .

اشعاع كهرومغناطيسى — Electromagnetic radiation

صورة من صور الطاقة ، تشتمل على الضوء المرئى وموجات الراديو والأشعة تحت الحمراء والأشعة السينية وأشعة جاما ، يمكن أن تنتقل خلال الفضاء لتؤثر على السلوك الكهرومغناطيسى للأجسام التى تتفاعل معها . وتتكون من مجالات كهرومغناطيسية متذبذبة تنتشر بسرعة الضوء ، وتعتبر بلغة الجسيمات ، كدفق من الفوتونات .

اضطراب كمى — Quantum Fluctuation

ظاهرة ميكانيكا كم مؤقتة ، مثل ظهور جسيم افتراضى لفترة وجيزة ، بسبب الحرية التى اتاحها مبدأ عدم اليقين .

الالكترون — Electron

جسيم دون ذرى ، يحمل شحنة كهربية سالبة ، يوجد فى حيزات مدارية (أوربيتالات) محيطة بنوى الذرات .

انتخاب طبيعى — Natural selection

الاستبقاء الطبيعى والتشعب للجينات والكائنات العضوية الحاملة للطفرات ، التى تساعد الجينات والكائنات العضوية المتأثرة على الاستبقاء والتكاثر . ويعتقد أنها عملية أساسية مسئولة عن توجيه مسار التطور .

انتروبيا Entropy

مقياس للمدى الذى عنده تصبح الطاقة مشتتة خلال أى نظام فيزيائى . وينص القانون الثانى للديناميكا الكهربية على أن انتروبيا النظم الطبيعية فى تزايد بشكل دائم ، موضحا أنه فى أى تغير طبيعى تصبح الطاقة دائما مشتتة بشكل عام نحو توزيع أكثر استواء . وغالبا ما توصف الانتروبيا بشكل مضناض على أنها مقياس « العشوائية » داخل نظام معين .

انزيم — Enzyme

جزء بروتينى يعمل بمثابة حافز بيولوجى ، يحفز على تفاعلات كيميائية معينة متعلقة بكيمياء الحياة .

انزيم مشارك ، مساعد ، تميم — Conzyme

مادة كيميائية تصبح مرتبطة بانزيم وبذلك تساعد على إنجاز عمله فى الحفز الكيميائى .

انسحاق عظيم — Big crunch

الصورة العكسية المحتملة للانفجار العظيم ، حيث قد ينهار اليه الزمكان والمادة والطاقة عائدة الى نقطة متناهية الصغر .

انفجار عظيم Big bang

اللحظة التى يفترض فيها انفجار كل من الزمكان والمادة والطاقة فى الكون ، من احدى النقاط المتناهية الصغر ، لتمدد وتبرد ويتولد عنها الكون « المستمر فى التمدد والبرودة » حتى اليوم .

اوربิทัล — Orbital

انظر : حيز مدارى

ايض ، تفاعل حيوى ، استقلاب — Metabolism

جميع الأنشطة الكيميائية التى تحدث داخل خلية حية او كائن عضوى .

أيضات — Metabolites

مواد كيميائية تساهم في عملية الأيض .

أيونات Ions

جسيمات مشحونة كهربيا ، تتكون عندما تكتسب الذرات أو الجزيئات إلكترونات (أيون سالب) ، أو تفقدها (أيون موجب) .

هـ ر ف ب

بروتون — Proton

جسيم دون ذرى ، يحمل شحنة كهربية موجبة . يوجد في نوى الذرات .

بروتين — Protein

جزيئات عملاقة تتكون ، عندما تصبح العديد من الأحماض الأمينية الفردية مرتبطة ببعضها البعض . وتقوم هذه البروتينات بالتحفيز والتحكم في العمليات الكيميائية للحياة ، بالإضافة الى القيام بالعديد من الأدوار الانشائية والأدوار الأخرى .

بوزون — Boson

مئة من الجسيمات ذات قيم عددية صحيحة أو صفر (أى : صفر ، ١ ، الخ . ولا توجد كسور أبدا) من اللف ، تشتمل على ما يسمى بالجسيمات « الرسول » ، التى يعتقد أنها تتوسط القوى الأساسية .

هـ ر ف ت

تداخل — Interference

ميل اثنين أو أكثر من الموجات للاتحاد مع بعضها البعض ليعطوا « نمط تداخل » .

ترجمة — Translation

حل شفرة المعلومة الوراثية (التسلسل القاعدى) لـ ر.ن.١ الرسول الى تسلسل الحمض الأمينى لجزئ بروتينى ، يشفر عنه ر.ن.١ الرسول .

تشعب عصبي — Dendrite

امتداد رفيع من جسم خلية عصبية ، ينحصر دوره الاساسى فى استقبال المدخلات العصبية من الخلايا العصبية الاخرى .

تطور — Evolution

العملية التى يعتقد انه تم من خلالها أن تسببت الكائنات الحية الاولى فى كل الصور الاخيرة للكائنات الحية ، ومن خلالها ستولد الحياة الحالية صور الحياة فى المستقبل . ويعتقد أن سبب التطور يعود الى الانتقاء الطبيعى للابداعات المفيدة ، التى تولدت فى المادة الوراثية للكائنات الحية بشكل عشوائى ، أو على الأقل من خلال طفرات غير موجهة .

تفاعل — Interaction

معنى آخر للقوة ، والمصطلح المفضل لدى الفيزيائيين عن القوة .

تمثيل ضوئى — Photosynthesis

العملية التى تتم داخل النباتات ، وتستخدم فيها طاقة الضوء لبدء التفاعلات الكيميائية التى يتحول ثنائى اكسيد الكربون والماء من خلالها الى مواد كربوهيدراتية وغاز اكسجين .

حرف ث

ثابت بلانك — Plank's constant

ثابت عددى أساسى للطبيعة ، يناظر مقدارا معيناً من « الفعل »
(طاقة × زمن) .

ثايمين — Thymine

احدى القواعد الموجودة فى د.ن.أ. تتزاوج مع ادينين لتكوين القاعدة المزدوجة A-T .

حرف ج

جدول دورى — Periodic table

جدول من العناصر ينقسم الى « دورات أفقية » و « مجموعات » رأسية ، يمثل رقم الدورة عدد الأغلفة للذرة ، ورقم المجموعة عدد الإلكترونات فى الغلاف الأخير .

جرافيتونات — Gravitons

الجسيمات التى يعتقد أنها الوسيطة للجاذبية .

جزيء — Molecule

جسيم كيميائى يتكون من ذرتين أو أكثر ، تتماسكان مع بعضها البعض بواسطة روابط تساهمية ، أو تساهمية استقطائية .

جسيم — Particle

مقادير ضئيلة جدا من المادة ، مثل الجزيئات والذرات والأيونات للإلكترونات والبروتونات والنيوترونات والكواركات ، الخ .

جسيم تقديرى — Virtual particle

جسيم يدين بوجوده المؤقت لمبدأ عدم اليقين لميكانيكا الكم ، ومن أكثر الأمثلة أهمية على هذه النوعية ، الجسيمات الرسولية التى تتوسط القوى الأساسية .

جسيم ريبى — Ribosome

مركبات من البروتينات ونوع من الـ ر.ن.ا. ويتم فيها تخليق البروتينات .

جسيم W — W particles

أحد أنواع الجسيمات الوسيطة للقوة النووية الضعيفة .

جسيم Z — Z particle

أحد أنواع الجسيمات الوسيطة للقوة النووية الضعيفة .

جسيمات عضوية ، عضيات — Organelles

تركيبات منظمة متميزة داخل خلايا الكائنات الحية ، غالبا ما تحاط بأغشيتها .

جليونات — Gluons

الجسيمات التي يعتقد أنها تتوسط القوة النووية القوية .

جوانين — Guanine

احدى القواعد الموجودة في د.ن.أ و ر.ن.أ. وتزدوج مع السيتوسين لتكون الازدواج القاعدى G — C

جين — Gene

منطقة من د.ن.أ ، تشفر عن جزئ بروتينى واحد ، أو جزئ ر.ن.أ واحد يؤدي وظيفة معينة .

حرف ح

الحالة الأرضية ، حالة الخمود — Ground state

حالة ذرة تكون فيها جميع إلكتروناتها في أدنى مدارات الطاقة المتاحة.

حرارة — Heat

مقياس كمى لطاقة الحركة لجسيمات المادة .

حزمة موجية Wave-packet

تركيب موجى شبيهة بالجسيم ، تتركز فيها معظم الظواهر الموجية داخل حيز صغير من الفضاء .

حفاز Catalyst

مادة تسرع من التفاعل الكيميائى ، بينما تظل هى نفسها دون تغير بشكل عام فى عملية الحفز .

حلزون مزدوج — Double-helix

تركيب ينشأ عندما يلتف جزيئان متتامان من الـ د.ن.أ حول أحدهما الآخر في صورة حلزونين أو لولبين ملتفين على بعضهما البعض. وتركيب الـ د.ن.أ هذا هو الذى يكون الجينات والكروموزومات للحياة .

حيز مدارى (أوربيتال) — Orbital

حجم معين من الفراغ داخل ذرة (حول النواة — المراجع) ، يمكن أن يوجد به الإلكترونات (اثنان على الأكثر) .

حيز مدارى جزيئى Molecular orbital

مدار الكترونى يحيط بكل النوى الذرية داخل جزيء .

حرف خ

خلية Cell

الوحدة الأساسية للحياة . وتتكون من كيس محاط بغشاء من سائل مائى ، ويحتوى على جميع المواد الكيميائية التى تسمح للخلية بالحياة والتكاثر .

حرف د

دافع عصبى Nerve impulse

نبضة تغير كهروكيميائى تنتشر عبر غشاء خلية عصبية .

د.ن.أ — DNA

الحمض النووى الريبى منقوص اكسجين — الحمض النووى الذى يحمل المعلومات الوراثية لمعظم صور الحياة .

حرف ذ

ذرات — Atoms

الجسيمات الأساسية للمادة ، تتكون من بروتونات ونيوترونات في نواة مركزية ، ومحاطة بالإلكترونات . . .

حرف و

رابطة — Bond

رابطة كيميائية بين ذرتين أو أيونين .

رابطة أيونية — Ionic bond

قوة التجاذب الكهرومغناطيسي المسكة بأيونات مشحونة بشحنة سالبة وأيونات مشحونة بشحنة موجبة ببعضها البعض .

رابطة تساهمية — Covalent bond

رابطة كيميائية بين ذرتين تنشأ عندما تصبح الإلكترونات مساهمة بين ذرتين معينتين . وينتج عن التساهم المتساوي رابطة تساهمية نقية ، وينتج عن التساهم غير المتساوي رابطة تساهمية استقطابية .

رابطة تساهمية استقطابية — Polar covalent bond

رابطة كيميائية بين ذرتين ، تنشأ عندما تصبح الإلكترونات تساهمية بين الذرات ، لكنه تساهم غير متساو ، بحيث تمتلك إحدى الذرات شحنة موجبة خفيفة (+ 8) ، في حين تمتلك الأخرى شحنة سالبة خفيفة (- 8) .

رابطة فان در فالس — Van der Waals bonds

قوى جاذبية ضعيفة بين مادتين كيميائيتين ، تنشأ من شحنات جزيئية ذات تذبذب عابر على سطوحها ، ينشأ نتيجة الحركة العشوائية للإلكترونات .

رابطة هيدروجينية — Hydrogen bond

رابطة كيميائية ضعيفة ، تنتج من التجاذب الكهرومغناطيسي بين ذرة هيدروجين تحمل شحنة موجبة خفيفة (لأنها موجودة عند أحد أطراف رابطة تساهمية استقطابية) وذرة أخرى تحمل شحنة سالبة خفيفة (لأنها موجودة عند أحد أطراف رابطة تساهمية استقطابية أخرى) . وتضم الروابط الهيدروجينية الازدواجيات القاعدية للأحماض النووية المتقاربة . وتتكون هذه الروابط أيضا بين جزيئات الماء .

ر.ن. 1. RNA

الحمض النووي الريبى . الحمض النووي الذى يعمل كوسيط بين الـ د.ن. 1 والبروتين فى الآلية الكيميائية المركزية للحياة .

ر.ن.١ رسول (Mesenger RNA (m RNA)

نسخة الـ ر.ن.١ من جين ، التي تصبح مرتبطة بجسيم ريبي وتوجه تصنيع بروتين معين .

ر.ن.١ ريبوسومي — Ribosomal RNA (rRNA)

الـ ر.ن.١ الذي يوجد كجزء متكامل من جسيم ريبي .

ر.ن.١ ناقل (Transfer RNA (t RNA s)

جزيئات الـ ر.ن.١ التي تأتي بأحماض أمينية معينة الى الجسيم الريبي أثناء تخليق البروتين وتنقلها الى سلسلة بروتينية متنامية .

روابط معدنية — Mettalic bonds

القوى الكيميائية التي تربط ذرات معدن ببعضها البعض . ويعتقد انها تشتمل على « بحر » متحرك من الكترولونات خارجية منجذبة نحو أيونات مشحونة شحنة موجبة داخل هذا البحر .

حرف ز

زمكان — Spacetime

« ميدان التنافس أو الصراع » ، الذي تحدث فيه كل أحداث الكون . ويتكون الزمكان من أبعاد المكان (والتي من المؤكد أن عددها ثلاثة أبعاد ، ولكن ربما تكون أكثر من ذلك) المتحدة بطريقة رياضية قوية ببعد الزمان الواحد .

حرف س

سالبة كهربية — Electronegativity

مقياس لقدرة ذرة على جذب الكترولونات نحوها ، أثناء مشاركتها في رابطة كيميائية .

سرعة — Speed

مقياس كمى للمسافة المقطوعة بواسطة جسم متحرك في زمن معين ، دون أخذ الاتجاه في الاعتبار .

سرعة اتجاهية — Velocity

مقياس للسرعة التي يتحرك بها جسم في اتجاه معين مقداراً واتجاءاً

سيتوسين Cytosine

احدى القواعد الموجودة فى د.ن.أ. ، أو ر.ن.أ. وتتراوج مع قاعدة جواتين لتكون الازدواج القاعدى G-C .

حرف ش

شحنة — Charge

مصطلح يطلق على الظاهرة الغامضة التى تجعل الأشياء الحاملة للشحنة ، تولد وتشعر بتأثيرات قوى أساسية . وعلى سبيل المثال ، فالاجسام الحاملة لشحنة كهربية (التى اما أن تكون شحنة موجبة أو سالبة) تولد وتشعر بتأثيرات القوة الكهرومغناطيسية .

شحنة كهربية Electric charge

شحنة كهربية موجبة أو سالبة ، تجعل الاجسام حاملة الشحنة ، تولد وتشعر بتأثيرات القوة الكهرومغناطيسية .

شغل — Work

مقياس كمى للطاقة المنقولة لجسم عندما تكون حالة سكونه أو حركته متغيرة بتأثير القوة . ويبدل الشغل عندما يتحرك جسم ضد تأثير قوة أساسية .

شفرة وراثية — Genetic code

الشفرة التى تحدد أى الكودونات الموجودة فى ر.ن.أ. الرسول ، تحدث اندماج أى أحماض أمينية الى بروتين .

حرف ص

صيغة جينية — Expression of genes

حل الشفرة الكامل للمعلومة الوراثية لجين الى جزيء بروتينى يؤدي وظيفة ، ويشمل كلا من نسخ الجين الى الـ ر.ن.ا ، وبعد ذلك ترجمة المعلومة الوراثية الى تركيب (بناء) بروتينى كامل .

حرف ض

ضوء — Light

اشعاع كهرومغناطيسى ذو تردد يقع فى حدود المجال المرئى للانسان . ويستخدم المصطلح احيانا بصورة فضفاضة للإشارة الى الاشعاع الكهرومغناطيسى بشكل عام .

حرف ط

طاقة — Energy

قدرة النظام على أداء شغل . ويتضمن أداء الشغل احداث حركة ضد قوة أساسية ، لذا يمكن تصور الطاقة على انها القدرة على احداث حركة ضد قوة أساسية .

طاقة تنشيط — Activation energy

هى الطاقة المطلوبة لتنشيط مواد كيميائية من أجل المساهمة فى تفاعل كيميائى معين .

الطاقة حركة — Kinetic energy

طاقة الحركة المصاحبة لكل الأجسام المتحركة بسبب حركتها .

طاقة وضع — Potential energy

صورة من صور الطاقة تمتلكها الأجسام ، لأن أوضاعها تتضمن بعض التحدى لقوة أساسية .

طفرة Mutation

أى تغير فى أى مادة وراثية ، وعادة يكون الـ د.ن.ا لى كائن
عضوى .

حرف ع

عدد ذرى Atomic number

عدد البروتونات (أو الإلكترونات) الموجودة فى ذرة .

عصارة خلوية ، سيتوبلازم Cytoplasm

السائل الموجود داخل الخلية .

عدد كتلى Mass number

العدد الكلى للبروتونات والنيوترونات فى أى ذرة .

عناصر — Elements

مواد تتكون من نوع واحد فقط من الذرات .

حرف غ

غشاء الخلية — Cell membrane

الغشاء الدهنى الذى يصنع حدود كل الخلايا .

حرف ف

فوتونات — Photons

جسيمات الكم (الكوانتات) للمجالات الكهرومغناطيسية .

حرف ق

القانون الأول للديناميكا الحرارية — First law of thermodynamics

قانون بقاء الطاقة الكتلية ، الذى ينص على أن المقدار الكلى للطاقة
الكتلية فى الكون مقدار ثابت ، ويمكن أن تتحول الطاقة الى صورة

الكتلة ، ويمكن أن تتحول الكتلة الى طاقة ، بينما يظل المقدار الكلى للطاقة الكلية ثابتا .

القانون الثانى للديناميكا الحرارية Second law of thermodynamics

القانون الذى ينص على انه فى أية عملية طبيعية ، لا بد وان تزايد انتروپيا الكون بشكل عام (يمكن فى نظام ما أن تتناقص الانتروپيا ، بمعنى أن يكتسب طاقة بدلا من أن يبددها ، ولكن يكون ذلك على حساب تزايد الانتروپيا فى نظام آخر ، وهو الذى أمد النظام الاول بالطاقة ، ولا بد من أن يتضمن هذا التبادل قدرا من تشتيت الطاقة ، بحيث يكون القانون ساريا بالنسبة للنظامين معا كوحدة واحدة ، لذا فالأدق أن نقول ان هذا القانون يشترط أن يكون النظام مغلقا — المراجع) .

Inertia — قصور ذاتى

ميل أى جسم ذى كتلة للاحتفاظ بحالة حركته أو سكونه . وبمعنى آخر ، ميل هذا الجسم لعدم التسارع أو التباطؤ أو تغيير اتجاهه ، الا اذا أثرت عليه قوة .

Bases (of DNA OR RNA) — قواعد (د.ن.أ أو ر.ن.أ)

عناصر كيميائية من الجزيئات ، تعرف « بالنكليوتيدات » ، التى ترتبط ببعضها لتكون الأحماض النووية د.ن.أ ، أو ر.ن.أ. ويمكن أن تكون كل قاعدة ازدواج قاعدى مع قاعدة محددة متممة على الجديلة الأخرى للحمض النووى .

Force — قوة

دفع أو جذب ، تحدثه واحدة أو أكثر من القوى الأساسية فى الطبيعة . ويمكن النظر للقوة بصورة أفضل ، على أنها تفاعل بين اثنين أو أكثر من الأجسام ، وأن تأثرها بهذا التفاعل المشترك بدرجة متساوية .

Gravitational force — قوة جاذبية

أحدى القوى الأساسية فى الطبيعة . وهى المسئولة عن قوة التجاذب بين جميع الأجسام من ذوات الكتل .

قوة كهروضعيفة — Electroweak force

القوة الموحدة للقوتين الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة .

قوة كهرومغناطيسية — Electromagnetic force

أحدى القوى الأساسية للطبيعة . وهى مسئولة عن قوة التجاذب بين جسمين يحملان شحنات كهربية ذات اشارات مضادة ، وقوة التنافر بين جسمين حاملين لشحنات كهربية لها نفس الاشارات ؛ وهى مسئولة أيضا عن ظاهرة المغناطيسية . ومن المحتمل أن تكون حالة خاصة من قوة أشمل ، يطلق عليها القوة الكهروضعيفة بشكل علم ، التى تشمل تأثيراتها أيضا القوة النووية الضعيفة .

قوة نووية ضعيفة — Weak nuclear force

أحدى القوى الأساسية فى الطبيعة . وهى المسئولة عن بعض صور الاضمحلال الاشعاعى داخل النوى الذرية . ومن المحتمل ان تكون مجرد واحدة من صورتى القوة الكهروضعيفة .

قوة نووية قوية Strong nuclear force

أحدى القوى الأساسية للطبيعة . وهى القوة المسئولة عن تماسك البروتونات والنيوترونات فى نواة الذرة ، وتماسك الكواركات داخل البروتونات والنيوترونات .

قوى أساسية — Fundamental forces

القوى الأربع الأساسية فى الكون وهى : قوة الجاذبية ، والقوة الكهرومغناطيسية ، والقوة النووية القوية ، والقوة النووية الضعيفة . ومن المحتمل أن تكون القوة الكهرومغناطيسية والقوى النووية الضعيفة صورتين متميزتين من أحدى القوى الكهربائية الضعيفة الموحده (انظر القوة الكهروضعيفة — المراجع) ؛ وربما يكشف التقدم فى المستقبل عن التوحيد الكامل للقوى الأساسية فى الفيزياء (أمكن توحيد القوى النووية القوية مع القوة الكهروضعيفة فيما يسمى « قوة التوحيد العظمى » ، أما ضم الجاذبية لهذه القوة فأمر لا يزال محل بحث ، لمزيد من المعلومات عن محاولات توحيد القوى الأساسية ، انظر « ما بعد أينشتاين » ، ترجمة الدكتور فايز فوق العادة من منشورات أكاديميا — المراجع) .

حرف ك

كائن حي بدائي Lower organism

الكائن العضوى الذى لا تحتوى خلاياه على نواة متميزة مثل الخلية البكتيرية (يضم البكتيريا والطحالب — المراجع) .

كائن حي راق Higher organism —

كائن حي تحتوى خلاياه على نواة متميزة ، بعكس الكائنات الحية الدنيا مثل البكتيريا التى لا تحتوى على نواة .

كتلة — Mass

مقياس كمى للقوة المطلوبة لتغيير حركة جسم بمقدار معين .

كتلة سكون Rest mass —

كتلة أى جسم عندما يكون فى وضع السكون بالنسبة للشخص الذى يقيس الكتلة .

كتلة نسبوية — Relativistic mass

كتلة جسم فى الوقت الذى يؤخذ فى الحسبان تأثير حركته بالنسبة للشخص الذى يقيس الكتلة (أى التأثير الذى تقول به النظرية النسبية ، وهو لا يظهر بصورة محسوسة الا عندما تقترب السرعة من سرعة الضوء — المراجع) . وتعتبر الكتلة النسبوية هى كتلة السكون للجسم بالاضافة الى مقدار اضافى من الكتلة ، تعتمد قيمته على سرعة الحركة .

كروموسوم — Chromosome

تركيب فى بناء اية خلية ، يتكون من جزء من د.ن.ا الخلية ، بالاضافة للعديد من البروتينات المرتبطة بالـ د.ن.ا. وجميع جينات خلية ما موزعة بين كروموسوماتها العديدة .

كمية تحرك — Momentum

ناتج ضرب الكتلة فى السرعة لجسم .

كودون — Codon

مجموعة من ثلاث قواعد ، تشفر عن ادماج حمض أميني معين في سلسلة بروتينية متنامية ، عن طريق تكوين ازواج قاعدي مع كودون متمم لـ ر.ن.أ ناقل .

كودون مقابل ، متمم — Anticodon

مجموعة تتكون من ثلاث قواعد موجودة في جزيء ر.ن.أ ناقل ، والتي يمكن أن تكون قواعد مزدوجة مع كودون متمم على ر.ن.أ الرسول وبذلك تسمح بانضمام حمض أميني معين (يحمله ر.ن.أ الرسول) في سلسلة بروتين نامية .

كواركات — Quarks

اسم شامل لطائفة من جسيمات أساسية ، وهي تعتبر الوحدات البنائية للبروتونات والنيوترونات .

حرف ل

لبتونات — Leptons

اسم شامل لطائفة من الجسيمات الأساسية ، تضم الإلكترون ونيوترونو الإلكترون . وتشعر هذه الجسيمات بالقوة النووية الضعيفة والقوة الكهرومغناطيسية ، لكنها لا تشعر بالقوة النووية القوية .

لف — Spin

خاصية خفية للجسيمات ، عندما توصف باستخدام نظرية الكم ، التعريف الرسمي له أنه كمية التحرك الزاوية الكامنة في الجسيم . ويمكن النظر اليه بصورة فضفاضة على أنه قياس للطريقة التي تدور بها الأجسام حول محورها ، على الرغم من أن هذا في الواقع تمثيل غير دقيق الى حد ما .

حرف م

مادة — Matter

المادة التي يصنع منها كل شيء ذي كتلة . وتعتبر الآن صورة من صور الطاقة المتكثلة والتي تشغل حجما محددا .

مبدأ عدم اليقين — Uncertainty principle

المبدأ الأساسى لميكانيكا الكم ، الذى ينص على أن وضع وكمية تحرك أى جسيم ، ليست له قيم محددة فى نفس الوقت . ويمكن أن يذكر أيضا من وجهة نظر عدم اليقين لطاقة ظاهرة معينة وزمن دوامها (يقصد بالظاهرة هنا أحد الجسيمات التقديرية — المراجع) .

مجال — Field

كمية فيزيائية ، مثل قيمة واتجاه القوة الكهرومغناطيسية ، التى تتغير من مكان لآخر داخل الزمكان .

محور عصبى — Axon

الامتداد الطويل لخلية عصبية ، الذى يوصل نبضات عصبية بعيداً عن جسم خلية عصبية ونحو الفروع الطرفية للخلية .

مشبك — Synapse

الفراغ الموجود بين خليتين عصبيتين ، تنتشر عبره الناقلات العصبية، للسماح لنشاط احدى الخلايا العصبية بالتأثير على نشاط خلية عصبية أخرى .

مركب — Compound

أية مادة كيميائية تتكون من نوعين أو أكثر من الذرات أو الأيونات ، مرتبطين معا بطريقة كيميائية بواسطة الروابط التساهمية أو الاستقطابية أو الأيونية .

معادلة موجية — Wave equation

المعادلة التى تسمح لجميع الظواهر ، سواء اعتبرت عادة جسيمات أو موجات ، بأن توصف بلغة الكم ، أى على أنها ظواهر شبه موجية .

ميكانيكا الكم — Quantum mechanics

نظرية من نظريات الميكانيكا التى تأخذ فى الاعتبار تكمية الطاقة (اعتبار الطاقة على شكل مضاعفات لكم ، أو كوانتا ، معين) وخاصية ازدواجية الصفتين المادية والموجية للجسيمات والموجات (أى أن

الجسيمات لها خاصية موجية ، والموجات لها خاصية جسيمية .
(المراجع) ، ومبدأ عدم اليقين . وتعتبر أفضل النظريات المتاحة ، التي
تفسر أنشطة العالم المتناهي الصغر .

حرف ن

ناقل عصبى — Neurotransmitter

مادة كيميائية تفرزها خلية عصبية ، يمكن أن ترتبط بعد ذلك بخلايا
عصبية مجاورة ، فاما أن تتسبب في قدح نشاطها أو كبحه .

نسخ — Transcription

نسخ جديدة من د.ن ١٠ الى جديدة مكمله من ر.ن ١٠ .

نسخ الـ د.ن ١ — Replication of DNA

نسخ حلزون مزدوج واحد من د.ن ١ الى نسختين من نفسه .

نظائر — Isotopes

ذرات مختلفة لنفس العنصر ، والتي تختلف عن بعضها البعض في
عدد النيوترونات التي تحتوى عليها .

نظرية النسبية Relativity

نظرية فيزيائية وضعها ألبرت آينشتين ، وهى فى الحقيقة نظريتين
متميزتين : نظرية النسبية الخاصة والنظرية النسبية العامة .

نظرية النسبية الخاصة — Special theory of relativity

نظرية النسبية التى تصف التأثيرات التى يجدها الراصدون
المتحركون بالنسبة لبعضهم البعض بسرعة ثابتة فى اتجاه واحد (أى
دون تسارع ، أو عجلة) . ومن نتائجها وحدة المكان والزمان فى صورة
زمكان رباعى الأبعاد ، والتقابلية لتبدل الكتلة والطاقة ، وظاهرة انكماش
الفضاء وتمدد الزمان بالنسبة للأجسام المتحركة بدون تسارع بالنسبة لفاء .

نظرية النسبية العامة — General theory of relativity

جزء من نظرية ألبرت آينشتين التى تصف غيزياء النظم التى تمر
بتسارع نسبى بالنسبة لبعضها البعض ، والتى تحسدد التكافؤ بين
التسارع والجاذبية ، الذى يؤدى الى أن فكرة القوة الجاذبية هى نتيجة
للتكوير الزمكان .

نواة خلية — Nucleus (of cell)

الجسيم العضوى داخل خلية حية ، الذى يحتوى على كروموسومات الخلية .

نواة ذرة — Nucleus (of atom)

مجموعة البروتونات والنيوترونات الموجودة فى مركز اية ذرة .

نيوترون — Neutron

جسيم دون ذرى متعادل كهربيا ، يوجد داخل نوى الذرات .

حرف هـ

هبلية — Chaos

مصطلح يستخدم لوصف نظم عشوائية ظاهريا ومعقدة ولا يمكن التنبؤ بها . ويكشف علم الهبلية الحديث عن ان مثل هذه النظم قد يتم وصفها بطرق رياضية بسيطة بشكل ممتع . (يمكن الفرق بين النظم الهبلية والعشوائية فى ان الاولى تخضع لقواعد بسيطة ، كحركة ذرات الدخان فى فضاء الغرفة ، فهى تخضع لقوانين نيوتن فى الحركة ، ومن ثم فمن ناحية المبدأ يمكن وصفها رياضيا بدقة ، ومن ثم التنبؤ بها ، ولكن ذلك غير ممكن عمليا ، أما النظم العشوائية فهى من ناحية المبدأ لا يمكن التكهّن بها ، كحركة شخص ثمل — المراجع) .

حرف و

وزن — Weight

مقياس كمى لقوة التجاذب بين الأرض والجسم الذى يجرى تحديد وزنه .

حرف ي

يوراسيل — Urecil

احدى القواعد الموجودة فى ر.ن. 1 ، وهى تزدوج مع قاعدة الادنين لتكوين القاعدة المزدوجة A - U .

المؤلف

اندرو سكوت كاتب علمي • بعد حصوله على درجة الماجستير في الكيمياء الحيوية من جامعة أدنبرة عام ١٩٧٧ ، ودرجة الدكتوراه في الكيمياء من جامعة كمبردج عام ١٩٨١ ، احتترف مهنة الكتابة العلمية • ومن مؤلفاته : قراصنة الخلية ، وخلق الحياة والمبادئ والالية الجزيئية ، وقام باعداد كتاب عن رواد العلم ، وكتب العديد من المقالات لبعض دور النشر مثل : نيو ساينتست ، والصاندى تايمز والجارديان • ويقوم باعداد موضوعات للبرامج العلمية في الاذاعة وعلى وجه الخصوص لاذاعة ال بي • بي • سي للخدمات الخارجية ، وغالبا يحاضر في الكيمياء والبيولوجيا ومجالات العلوم الاخرى • متزوج وله طفلان ويعيش في أدنبرة •

المترجم

- هاشم أحمد محمد : حصل على بكالوريوس الهندسة من جامعة الزقازيق عام ١٩٧٥ ، عمل في مهنة الهندسة المدنية بشركات المقاولات ومهندسا استشاريا في المكاتب الهندسية الاستشارية •
- من مواليد السويس عام ١٩٥٠ •
- تفرغ للكتابة العلمية ، وقام بترجمة العديد من الكتب العلمية ، ومن أهمها :
- معجم التكنولوجيا الحيوية - سلسلة الالف كتاب الثانى •
- قراءة في مستقبل العالم - سلسلة العلم والحياة - الهيئة العامة للكتاب •
- وقدم العديد من المقالات العلمية للمجلات التي تصدرها اكااديمية البحث العلمى بالقاهرة •

المراجع

- على يوسف على ، مهندس الكترونيات جامعة الاسكندرية عام ١٩٦٢ •
- حاصل على ماجستير القانون جامعة القاهرة عام ١٩٨١ ودبلوم الترجمة جامعة الاسكندرية عام ١٩٩٠ •
- مارس الترجمة العلمية من اللغات الانجليزية والالمانية ، كما صدرت له عدة روايات مترجمة •
- نشر له في سلسلة الالف كتاب الثانى ترجمة كتاب « البرمجة بلغة السي » ومراجعة كتاب « الدقائق الثلاث الاخيرة » ، ومراجعة كتاب « افكار العلم العظيمة » (تحت النشر) •

كشاف

(١)

- ابرة بوصلة : ٣٢
 ابعاد المكان الثلاثة وبعد واحد للزمن : ٢٠
 ابعاد ثلاثة للفضاء وبعد واحد للزمن : ١٩
 اجسام ذات كتل : ٢٧ ، ٣٦ ، ٣٨
 اجسام ربيبة : ١٤٤
 اجسام كتلة : ٢٣
 اجسام متصادمة : ٩٥
 اجهزة استشعار عن بعد ، ١٦
 اجهزة كهربية : ٣٠
 احتكاك ، قوى : ٢٣ ، ٤٥
 احجار : ٢٢
 احصاء حياتي اول : ٥٠
 احصاء حياتي ثان ، ٥١
 احصائيات حياتية ، ٥١ ، ٥٢ ، ٥٥
 احماض امينية : ٢٣ ، ١٣٨ ، ١٤٤ ، ١٤٨ ، ١٥٩
 احماض نووية : ٢٣ ، ٢٤ ، ١٤٥ ، ١٤٩ ،
 ارادة حرة : ١٧٥
 اربع مكونات تصنع الكون ، ٤٧
 ارض ، جاذبية ، ٢٤
 اساسية ، قوى ، ٣٠
 استيلاد : ١٥٢
 اشارات عصبية : ١٦٥
 اشارات كيميائية : ١٦٥
 اشعة تحت حمراء : ٥٨
 اشعة جاما : ٥٨
 اشياء حية : ١٢٥
 اشياء دقيقة : ٥٧
 اشياء غامضة : ١٧٣ ، ١٧٧
 اصطناعي قمر : ١٢
 اضطراب موجي : ١٤
 اغشية الخلايا العصبية : ١٦٧
 اغلفة ثانوية : ٨٩
 افكار عظيمة في العلم : ٢٨
 اكسجين ، ذرات : ١٠٩
 اكسجين ، غاز : ١٠٣
 اكياس : ١٦٨
 آلات : ٤١
 التواء : ٥٥
 الكترون : ٣٢
 الكترولونات : ١٩ ، ٣١ ، ٣٢ ، ٤٣ ، ٤٨ ،
 ٦٠ ، ٦٢ ، ٧٥ ، ٨١
 ائية كيميائية اساسية للحياة : ١٤٥
 امراض القلب : ١٧٦
 امونيا : ١١٩
 امونيا ، جزيئات : ١١٥ ، ١٢٠
 امونيا ، غاز : ١١٧
 اميبا : ١٢٥
 انتخاب طبيعي : ١٥٢ ، ١٥٣ ، ١٥٥ ،
 ١٥٨ ، ١٦٢
 انثروبيا : ٩٤ ، ٩٦ ، ٩٧
 انثروبيا : زيادة في : ٩٧
 انزيمات : ١٢٩ ، ١٤٦
 انزيمات مشاركة : ١٤٧
 انسحاق عظيم : ٧٢

- انشطار نووى : ٨٢
 انعدام الوزن : ٣٥
 انفجار المستعر الأعظم : ٧١
 انفجار عظيم : ٧١ ، ٨٤
 انفجار عظيم ، نظرية : ٧١
 انفجار كيميائى ، قوة : ٣١
 انفجار وانسحاق ، سيناريو : ٧٢
 انفجارات سوبرنوفات : ٨٤
 اينشتين ، البرت : ١١ ، ١٣ ، ١٥ ، ١٨ ،
 ١٩ ، ٢٤ ، ٢٦ ، ٣٩ ، ٤٥ ، ٥٠ ، ٥٩ ،
 ٦٩
 ايونات : ٤٢ ، ١٠٧
 ايونات بوتاسيوم : ١٦٧
 ايونات صوديوم : ١٦٨
 ايونات كالسيوم : ١٦٨
 ايونات مركبة : ١٠٩

ب

- بترول : ٤٣
 بحر الكترونى : ١١٠
 بحر ، قوة : ١٣٠
 برغوث : ١٦٢
 بروتون : ٣١ ، ٣٢ ، ٤٣ ، ٤٨ ، ٤٩ ،
 ٥٣ ، ٥٤ ، ٦٠ ، ٧٥ ، ٨١
 بروتين : ١٣٨ ، ١٤٤
 بروتين ، تخليق : ١٤٥
 بروتينات : ١٥٩ ، ١٦٦
 بروتينات انشائية : ١٤٧
 بروتينات متقبلة : ١٤٨
 برودة كونية ، مرحلة : ٧١
 بريليوم : ٨٣
 بريونات : ١٧٦
 بقاء : ١٤٩ ، ١٥٣ ، ١٥٤
 بكتريا : ١٢٧
 ملائمة ، قلز : ١٢٤
 ملائمة ، ملائمة ، ملائمة : ٧٢ ، ٥٩ ، ٥٩
 ملائمة ، ملائمة : ٥٩
 بناء الكترونى للذرات : ٩٢
 بناء ذرى ، قواعد : ٨٣
 يورون ، ٨٤
 يوزونات ، ٥٣
 بوليتكنيك ، معهد : ١٩
 بويضة أنثوية : ٧٠
 بويضة مخصبة : ١٥٧
 بيولوجيا ، أساسيات : ١٥٨
 بيولوجيا : ٥٤ ، ٦٥ ، ١٧٥
 (ت)
 تأثيرات كيميائية : ١٢٩
 تجاذب ، ٣١
 تجاذب ، قوة : ٢٩
 تجربة ميكلسون - مورلى : ١٤
 تحفيز : ١٢٣
 تداخل : ٥٨
 تداخل تركيبى : ٦١
 تداخل هدام ، ٦١
 ترابط معدنى : ١١١
 تركيب الذرات ، ٧٨
 تركيب ذرى : ٣٤
 تركيب كيميائى : ١١٧
 تركيبات جيولوجية : ٤٢
 تسارع : ٣٦
 تسارع وجاذبية ، ظاهرة : ٣٥
 تشتت : ٩٧
 تشعبات عصبية : ١٦٥
 تطور : ١٥٢
 تعقد ذرى ، سلم : ٨٢
 تعليمات ، ١٢٨
 تفاعل بسيط ، ١١٥
 تفاعل تجاذبى : ٢٩
 تفاعل كيميائى : ٤٩ ، ١٠٢ ، ١٠٦ ، ١١٤ ،
 ١١٩ ، ١٢٠ ، ١٢٢ ، ١٢٩ ، ١٤٦ ، ١٥٠ ،
 ١٦٣
 تفاعلات : ٩٨

جينات : ١٢٧
جينوم الخلية : ١٢٨

(ح)

حالة دركية : ٩٠
حاملات القوة : ٥٣
حتمية احتمالية : ٦٧
حسية ، مذهب : ٦٥
حديد : ٩٤
حديد ، ذرات : ٨٤ ، ٤٩
حديد ، معدن : ٤٩
حرارة : ٩٨
حركة الأيونات : ١٦٦
حزون مزدوج : ١٣١
حياة : ١٢٥
حياة مصطلح : ١٦١
حيز مدارى : ٨٩ ، ٨٣
حيز مدارى جزئى : ١٧٤
حيزات مدارية اضافية : ٨٨
حيوان منوى ، ٧٠

(خ)

خلايا : ١٦٨ ، ١٢٩ ، ١٢٦ ، ١٢٥
خلايا حية : ٤١
خلايا عصبية : ١٦٨ ، ١٦٧ ، ١٦٥ ، ١٦٤ ، ١٧٠
خلق : ٧٠
خلية عصبية : ١٦٧ ، ١٦٨ ، ١٧٠
خلية منوية : ١٥٦

(د)

دفع : ٢٢ ، ٢٣ ، ٢٥ ،
دون : ١٢٧
دفع وجذب ، قوى : ٣٣ ، ٦
دى بروجلى ، لويس : ٦٠
ديمقرايطيس : ٥٥

تفاعلات كيميائية ، معدل : ١٦

نعلبات كمية : ٧٣ ، ٧٤

تكاثر : ١٤٩ ، ١٥٢ ، ١٥٣ ،

تكاثر : عملية : ١٥٣

تكاثر تفاضلى : ١٥٤

تكاثر جنسى للكائنات العضوية : ١٥٧

تمثيل ضوئى : ١٥١ ، ١٦١ ، ١٩١

تيار كهربى : ١١١

تيون : ٥٤

(ث)

ثانى اكسيد الكربون : ٩٨ ، ١٢٤

(ج)

جاذبية : ٢٣ ، ٢٤ ، ٢٦
جاذبيه ، نوليد ، ٢٨
جاذبية ، قوة ، ٣٠ ، ٣١ ، ٤٢ ، ٤٣
جدول دورى : ٧٧ ، ٨٤ ، ٩٠ ، ١٠٦
جذب : ٢٣
جذبية ، قوة : ٣٠ ، ٣٣ ، ٤١
جرافيتونات : ٥٢
جزيئات : ١١٦
جزيئات الأرض ، ٤٢
جزيئات بروتينية : ١٢٨ ، ١٦٧
جسيمات : ٤٨ ، ٦٠
جسيمات أساسية : ٤٨
جسيمات افتراضية : ٧٢
جسيمات المادة : ١٠ ، ١١ ، ٤٩ ، ٥٠ ، ٥٣
جسيمات ثلاث دون ذرية : ٨٠
جسيمات دون ذرية : ٢٩ ، ٣١ ، ٤٣
جسيمات صلبة : ٥٧
جسيمات عديمة الكتلة : ٥٠
جسيمات الكيمياء : ١٠٨
جسيمات المادة : ١٠ ، ١١ ، ٤٩ ، ٥٠ ، ٥٣
جسيمات مشحونة كهربيا : ٣١
جسيمات وسيطة : ٥٣
جنسى : ١٦٠

(د)

ذاتي ، قصور : ٢٣ ، ٢٦ ، ٢٨
 ذاكرة : ١٧١
 ذرات : ١٦ ، ٣١ ، ٣٢ ، ٤٩ ، ٧٥ ، ٩٣
 ذرات العالم الطبيعي : ٩٨
 ذرات العناصر : ١٠٧
 ذرات عنصر : ٨٣

(ر)

راديوم : ١٤٢
 رابطة تكافئية : ١٧٤
 رابطة هيدروجينية : ١١١
 راديوم ، فلز : ١٢٤
 روابط أيونية : ١٠٦
 روابط تساهمية : ١٠٤ ، ١٠٦
 روابط رئيسية : ١١٢
 روابط قوية : ١٠٩
 روابط كيميائية : ١٠٤ ، ١١٣ ، ١١٤
 رياح ، قوة : ٣٠
 ريبوسوم : ١٤٢ ، ١٤٤

(ز)

زمان : ٢٢
 زمان ومكان : ١١ ، ١٥ ، ١٨
 زمان : ١١ ، ١٢ ، ٢٠ ، ٢١ ، ٢٢ ،
 ٣٦ ، ٤٧ ، ٥٥ ، ٧١
 زمان منحنى : ٢٨ ، ٤١
 زمان الهندسة المتغيرة : ٣٩
 زمان ، بنية : ٣٧
 زمان ، تكور : ٣٧ ، ٥٠ ، ٥٣
 زمان ، دوران في : ٣٦
 زمان ، مساحة : ٢٢
 زمن : ١٩
 زمن ، معدل : ١٨
 زيورخ : ١٩

(س)

سالبية كهربية : ١٠٦ ، ١٠٧
 سرطان : ١٧٦
 سكون ، كتلة : ٢٢
 سوازل : ٦٨

(ش)

سبكة أيونية : ١٠٨
 شحنات غامضة مصاحبة لكل قوة : ٢٢
 شحنة ، ٤٧
 شحنة القوة النووية : ٥١
 شحنة سالبة : ٣١
 شحنة ضعيفة : ٥٣
 شحنة القوة الضعيفة : ٥١
 شحنة القوة النووية : ٥١
 شحنة قوية : ٥٢
 شحنة كهربية : ٥٢
 شحنة موجبة ، ٣١
 شرويدنجر ، معادلة : ٨٧
 شرويدنجر ، معادلة موجية : ٨٨
 شغل : ٤١
 شفرة وراثية : ١٤٤
 شمس : ١٣ ، ١٥ ، ٢٤ ، ١٥١
 شيخوخة ، عمليات : ١٦

(ص)

صابون : ٩٩
 صخور : ٢٢
 صوبيوم ، نرة : ١٠٧

(ض)

ضوء : ١٣ ، ١٤ ، ١٨ ، ٥٧ ، ٥٨
 ضوء ، حاجز : ٢٥
 ضوء ، سرعة : ١٣ ، ١٤ ، ١٥ ، ١٦ ، ١٨ ،
 ٢١ ، ٢٥ ، ٤٦
 ضوء طاقاة : ٥٨

(ط)

- طاقة : ٤١ ، ٤٤ ، ٤٥ ، ٤٦ ، ٥٢ ، ٥٨ ، ٥٩
 طاقة اعادة توزيع : ٩٥
 طاقة الكسرون ، ٦٤
 طاقة تحولات : ٤٢
 طاقة نيترونات ، ١٢٢
 طاقة حرارية ، ٩٦ ، ١٢٣
 طاقة الحركة : ٤٤
 طاقة كلية ، ٩٥
 طانة مخترقة ، ٧٣
 طاقة مواد كيميائية ، ٤٣
 طاقة وسيطة أعلى : ١١٩
 طاقة وكتلة ، غلاظة : ٤٣
 طاقة مصدر : ٣٤
 طاقة الوضع ، ٤٤
 طبيعة أساسية للكيمياء والحياة : ٣٢
 طبيعة موجبة : ٥٧
 طريقة انتخابية ، ١٢٨
 طفرة : ١٥٦
 طول موجي : ٦٠

(غ)

- غاز : ٤٣ ، ٦٨ ، ١١٢
 غاز بدائي : ٧١
 غشاء : ١٢٦
 غشاء محيط بالخلايا ، ١٤٨
 غلاف ، الكتروني : ١٠٤
 غلاف ثانوي : ٩٢

(ف)

- فصل خيطية : ١٦٠
 فصل : ١٦٣
 حجم : ٤٣
 فروع طرفية : ١٦٥
 فضاء : ١٨ ، ١٩
 فضاء ، خواء : ٣٤
 فضائية مركبة : ١٦ ، ٢٠
 فناء : ١٥٣
 فوتون : ٦٠
 فوتونات : ٥٩ ، ٦٢
 فوتونات تقديرية ، ٦٤
 فوتونات حرة : ٦٤
 فيروسات بطيئة : ١٧٦
 فيروسات : ١٧٦
 فيزياء الجسم : ٥٥٠
 فيزياء ، حديثة : ٦٤ ، ١٧٣
 فيزياء كلاسيكية : ٢٥

(ظ)

- ظاهرة الالكترونات : ٧٩ ، ٨٧

(ع)

- عالم الكيمياء : ٧٦
 عالم حي : ١٦١
 عالم دون ذري : ٦٣
 عالم غير حي ، ١٦١
 عالية الطاقة ، نظم : ٤٢
 عجلة : ٢٢
 عدد ذري : ٨٠
 عدد كتلي : ٨٠
 عدد كتلي للذرة ، ٨١

(ق)

- ساون سى سديميح الحراريه : ٩٦ ،
١٠٠ ، ١٧٧
ساون حفظ الطافه : ٩٦
ساون ميزياني : ١٦٣
همر : ٢٤ ، ٣٠
هسه نسيب اليوتاسيوم ، ١٦٧
قوانين ازدواج قاعدى : ١٣٥ ، ١٤١
قوانين الفيزياء والكيمياء : ١٥١
قوانين فيزيائية : ٣٥
قوة : ٢٢ ، ٤٧
سوة التنافر الكهربيه : ١٠٢
قوة جذبية ، ٢٦
نوى : ٢٣ ، ٢٩
قوى اساسية تعمل فى الكون : ٢٣
قوى تجاذبية وتنافرية ٧٦
قوى جذبية للنجوم والمجرات : ٢٧

(ك)

- كائن حى : ١٢٦
كائنات حية : ٤١ ، ١٢٧ ، ١٣٠ ، ١٣١ ،
١٤٩ ، ١٥٠ ، ١٥٢ ، ١٥٣ ، ١٥٥ ،
١٥٨ ، ١٦٢
كائنات عضويه راقية : ١٢٦
كتلة : ٢٠ ، ٢٢ ، ٢٣ ، ٢٤ ، ٢٥ ، ٢٦ ،
٢٨ ، ٥٢
كربون ، ذرة : ٩٠
كروموسومات : ١٢٨
كلارك ماكسويل ، جيمس : ٣١
كلور : ١١٤
كلور ، ذرة : ١٠٧
كليبات : ٤٨
كم : ٥٧
كهربيه استاتيكية ، قوة ٣٢
كهربيه ضعيفه ، قوى ٣٣
كهربيه مغنطيسيه ، تأثيرات : ٣٠

- كهربيه ، قوة : ٣١
كهروكيميائية ، اشارات : ١٧٥
كهرومغنطيسي ، اشعاع : ٥٨
كهرومغنطيسي ، طيف : ٥٨
كهرومغنطيسيه ، قوة : ٢٢ ، ٢٣ ، ٤١ ،
٤٤ ، ٥٢ ، ٦٥ ، ٧٩ ، ٨٢ ، ١٠٢
كوراكت : ٤٨
كوارك سفلى : ٥٤
كوارك صاعد : ٥٣
كوارك علوى : ٥٤
كوارك غريب : ٥٤
كوارك فائق : ٥٤
كوارك هابط : ٥٣
كواكب : ٢٢ ، ٣٠ ، ٤٢ ، ٦٦
كودون توقف : ١٤٥
كودون مقابل : ١٤٢
كودونات : ١٤٢
كون : ٢٥ ، ٢٦ ، ٤٢ ، ٥٨ ، ١٦٢
كون ، تمدد : ٧١
كون ، تناغم حقيقى : ١١
كون ، الكتلة الكلية ، ١٧٣
كون المصير النهائى : ١٧٣
كون ، نسيج زمكان : ٥٥
كيمياء : ٦٥ ، ٧٥
كيمياء اساسية : ١٢٦
كيمياء الحياه : ١٣٠ ، ١٥٠
كيمياء ، جوهري : ١١٥
كيمياء حديثه : ٨٩
كيمياء « علم مركزى » : ٩٩

ل

- لبتونات : ٥٣
لفز الحياه : ١٥٨
لف : ٥١
لون : ٥١
لى : ١٧٣
ليثيوم : ٧٧ ، ٨٣
ليثيوم ، ذرة : ٩٠

مغناطيسية ، مجالات : ٣٢
 مقياس الطاقة : ١١٦
 مكان ثلاثي الأبعاد ، ٢٦
 وجهات النظر الكلاسيكية عن المكان والزمان
 والجاذبية : ٤٥
 مكان وزمان : ١٨ ، ٢١ ، ٢٢ ، ٢٤
 منخفض الطاقة ، نظام : ٤٣
 منخفضة الطاقة ، نظم : ٤٢
 هنكوفسكي ، هرمان ، ١٩
 مهندسى الفضاء ، ٢٥
 مواد أولية : ١٥٤
 مواد بادئة : ١٢١
 مواد بادئة للتفاعل : ١١٩
 مواد حفازة : ١٢٤
 مواد كربوهيدراتية : ٧٧ ، ٩٩ ، ١٥١
 مواد كيميائية ، ١١٤ - ١١٩ ، ١٢٦ ، ١٦٢ .
 مواقع الربط : ١٤٦
 موت انفجارى للنجوم : ٧١
 موجات ، ٥٧
 موجات احتمالية ، ٦٢
 موجات الراديو : ٥٨
 موجات صوتية ، قوة : ٣٠
 موجات مستقرة ، ٨٧
 موجات ميكروية : ٥٨
 مورلى ، ادوارد : ١٤
 مولدات كهرباء : ٤٧
 مياه متساقطة ، قوة : ٣٠
 ميتوكوندريا : ١٦٠
 ميكانيكا الكم : ٥٧ ، ٦٣ ، ٦٦ ، ٦٨ ، ٦٩ ،
 ٧٢ ، ١٧٣
 ميكلسون ، البرت ، ١٤
 ميون : ٥٤
 ميون - نيوترينو : ٥٤

(م)

مادة : ٢٢ ، ٣٦ ، ٤٧ ، ٧١
 مادة ، اشياء : ٢٢
 مادة طاقة : ٤٧
 مادة كيميائية : ١٢٧ ، ١٣٣
 مبدأ عدم اليقين : ٦٣
 متجهات السرعات : ١٢
 متفجرة للبترول ، قوة : ٣٠
 متوسط عمر ، ٥١
 مجال : ٦٠
 مجال جذبى : ٣٥
 مجال جذبى عال : ٤٤
 مجال قوة : ٣٠
 مجرات : ٢٧ ، ٢٩ ، ٤٢ ، ٧٠
 محور عصبى : ١٦٥
 مخ : ١٦٤
 مخطط توزيع الطاقة : ١٢٣
 مخلوقات بسيطة ، ١٧٥
 مخلوقات ثنائية الأبعاد : ٢٧
 مدارات ، ٨٣
 مدارات الكترونية : ٨٥ ، ٨٧
 مدارات الطاقة الأدنى : ١٠٢
 مدارات طاقة أدنى : ٩٣
 مدارات طاقة اعلى ، ٩٣
 مرض يعقوب : ١١٧
 مركبات كيميائية : ٩٨
 مستوى طاقة : ٨٥
 مشبك ، ١٦٨
 معادلات رياضية لميكانيكا الكم ، ٦٣
 معادلات كيميائية : ١١٦
 معادلة موجية ، ٨٥
 معلومات جينية : ١٢٨
 معلومات وراثية ، ١٣٣ ، ١٤٠
 معلومات وراثية ، نسخة وراثية : ١٤٠
 معلومة وراثية : ١٤٠
 مغناطيس : ٣٠
 مغناطيسية ، قوة : ٣٠

نيوترونات : ٣٢ ، ٤٩ ، ٥٢ ، ٥٤ ، ٧٥ ،

٨١

نيوترينو الكترون : ٥٣

نيوترينو - نيون : ٥٤

نيوتن ، اسحق : ٢٩

(هـ)

هرمونات : ١٤٨

هزات ارضية : ٣٠

هليوم ، ذرة : ٨٢

هواء ، مقاومة ، ٤٥

هيدروجين ، ذرات : ١٠٤

هيدروجين : ٧١ ، ٧٨ ، ١١٧ ، ١١٩

هيدروجين ، جزيء : ١٠٠ ، ١١٥

هيدروجين ذرات : ٧٨ ، ٨٢ ، ١٠٠ ، ١٠٩ ،

١١١

هيزنبرج ، فرنر ، ٦٣

هيكل حلزوني : ١٣٣ ، ١٣٥

هبلية : ٦٦

(و)

وحدات الكتلة الذرية ، ٥٢

الوزن : ٢٤

وقود كيميائي : ٤٣

(ي)

يورانيوم : ٧٧

(ن)

ناقل عصبي ، ١٦٧

نبات : ٢٢

نبضات عصبية : ١٦٥ ، ١٦٨

نيتروجين : ١١٦ ، ١١٧ ، ١١٩

نجوم : ٢٢ ، ٣٠ ، ٤٢ ، ٧٠

نروجين ، جزيئات : ١١٥

نجوم : ٢٢ ، ٣٠ ، ٤٢ ، ٧٠

نسبية : ١١ ، ١٣

نسبية خاصة : ٥٩

نسبية خاصة ، نظرية : ٣٤

نسبية عامة ، نظرية : ٣٥ -

نسبية ، نظرية : ٢٠

نشاط اشعاعي « بيتا » ، انبعاث : ٣٢

نشاط عصبي ، ١٧٩

نشاط عقلي ، ١٧١

نظائر : ٨١

نظام : ٤١

نظريات : ١٧١

نظرية حديثة : ٨٥

نظرية شاملة لكل شيء : ٣٩

نظرية موجية للضوء : ٥٩

نمط تداخل : ٦١

نواتج تفاعل ، ١٢١

نواة : ٣٢ ، ٨٢

نوبل ، جائزة : ٦٠

نووية ضعيفة ، قوة : ٣٠ ، ٣٢ ، ٦٢ ، ٦٥

اقرأ في هذه السلسلة

جوزيف داميرس سبع معارك فاصلة في العصور الوسطى	بيل شول وأبينيت القوة النفسية للأهرام صفاء خلوصي فن الترجمة رالف تى مانلو تولستوى	برتراند رسل أحلام الإعلام وقصص أخرى ي. رادو نكايوم جابوتنسكى الإلكترونيات والحياة الحديثة آلدس هكسلى نقطة مقابل نقطة
• لينواير تشامبرزرايت سياسة الولايات المتحدة الأمريكية أزاء مصر	• جون شندلر كيف تعيش ٣٦٥ يوما في السلة	ت. و. • فريمان الجغرافيا في مائة عام رايموند وليامز الثقافة والمجتمع
بيير الدير الصحافة	فيكتور هوجو رسائل وأحاديث من المنفى	د. ج. • فوريس و. ج. • ديكستر مور تاريخ السلم والتكنولوجيا ٢ =
• غبريال ومبة ر الكوميديا الإلهية لداكني في الفن التشكيلي	فيرنر هيرنبورج لجزء والكل « محاورات في مضمار الفيزياء النظرية »	ليسترديل راي الأرض الغامضة والتر آلن الرواية الإنجليزية
رمسيس عوض ثوب الروس قبل الثورة الباشقية ويعصا	سبنى هوك التراث الغامض • ماركس والماركسيون	لويس فارجاس المُرشد إلى فن المسرح فرانسوا دوماس آلهة مصر
• محمد نعمان جلال كة عدم الانحياز في عالم متغير	• ع. • أدينكوف فن الأدب الروائي عند تولستوى	• قدرى حفى وأخرون الإنسان المصرى على الشاشة
مرانكلى ل. باومر الفكر الأوربي الحديث ٤ ج	مادى نعمان الهيتى أدب الأطفال « فلسفته • فنونه وسائطه »	اولج فولكف التاهرة مدينة ألف ليلة وليلة
شوكت الريمى الفن التشكيلي المعاصر في الوطن العربي	• د. نعمة رحيم المزوى أحمد حسن الزيات كاتباً وناقداً	ماشم النحاس الهوية القومية في السينما
• محى الدين أحمد حصين الفتنة الأسرية والإبلاء الصغار	• فاضل أحمد الطائى أعلام العرب في الكيمياء	ديفيد وليام ماكوال مجموعات اللقود • صيانتها تصنيفها - عرضها
ج. دانيلى اندرو نظريات الفيلم الكبرى	جلال العشمرى فكرة المسرح	عزيز الشوان الموسيقى تعبير لغوى ومنطق
جوزيف كونراد مختارات من الأدب القصصى	منرى باربوس القصيم	• د. محسن جاسم الموسوى عصر الرواية
• جومان دورشنر لمحة في الكون كيف نشأت وأيّن توجد	• د. السيد عليوة صنع القرار السياسى في منظمات الإدارة العامة	ديلان توماس مجموعة مقالات تقنية
بانقة من العلماء الأمريكين مبادرة الدفاع الاستراتيجى حرب الفضاء	جاكوب برونوفسكى القطر الحضارى للإنسان	جون لويس الإنسان ذلك الكائن القريد
• السيد عليوة إدارة الصراعات الدولية	• د. روجر ستروجان هل نستطيع تعليم الأخلاق للأطفال ؟	جول ويست الرواية الحديثة • الإنجليزية والفرنسية
• مصطفى عنانى الميكروكمبيوتر	كاتى ثير قريبة الدواجن	• عبد المعطى شعراوى المسرح المصرى المعاصر • أصله وبنائه
• صموعة من الكتاب اليابانيين القدماء والمحدثين مختارات من الأدب اليابانى الشعر - الدراما - الحكاية - القصة القصيرة ،	• سينسر الموتى وعالمهم في مصر القديمة	أنور المعداوى على محمود طه الشاعر والإنسان
	• د. ناعوم بيتروفيتش الفحل والطب	

جابريل باير تاريخ ملكية الاراضى فى مصر الحديثة	روى روبرتسون الهيروين والايبرز واثرهما فى المجتمع	ب* كوملان الاساطير الاغريقية والرومانية
اسطونى دى كرسبنى وكينيث هيوج اعلام الفلسفة السياسية المعاصرة	دور كاسر ماكلينبوك صور افريقية * فقرة على حيوانات افريقيا	د- توماس ا- هاريس التوافق النفسى - تحليل المعاملات الانسانية
دوايت سوين كتابة السيناريو للصينما	هاشم التحاس نجيب محفوظ على الشاشة د* محمود سرى طه	لجنة الترجمة ، المجلس الاعلى للثقافة الدليل الجيولوجرافى روائع الاداب العالمية هـ ١
زافيلسكى ف* سر الزمن وقياسه (من جزء من البليون جزء من الثانية وحتى مليارات السنين)	الكومبيوتر فى مجالات الحياة	روى آرمر لغة الصورة فى السينما المعاصر
مهندس ابراهيم القرضاوى اجهزة تكييف الهواء	بيتر لورى المخدرات حقائق نفسية	ناحاي متشيو الثورة الاصلاحية فى اليابان
بيتر رداى الخدمة الاجتماعية والاضطباط الاجتماعى	بوريس فيدوروفيتش سيرجيف وظائف الاعضاء فى الالف الباء	بول هاريسون العالم الثالث غدا
جوزيف دامموس سبعة مؤرخين فى العصور الوسطى	ويليام بينز الهندسة الوراثية للمجتمع	ميكايل الملى وحيمنس لفلوك الانقراض الكبير
س- م- بورا التجربة اليونانية	ديفيد الدرتون قريبة اسماك الزينة	ادامز فيليب دليل تنظيم المقاحف
د- عاصم محمد رزق مراكز الصناعة فى مصر الاسلامية	احمد محمد الشنوانى كتب غيرت الفكر الانسانى	فيكتور مورجان تاريخ النقود
يونالد * سمبسون ونورمان د اندرسون العلم والطلاب والمدارس	جون ر* نورر وميلتون حولديجر الفلسفة وقضايا العصر ٢ ج	محمد كمال اسماعيل التحليل والتوزيع الاوركسترا لم
د- انور عبد الملك الشارع المصرى والفكر	ارولد تيبس الفكر التاريخى عند الاغريق	ابو القاسم الفردوسى الشاهنامة ٢ ج
ولت وقيمى روستو حوار حول التنمية الاقتصادية	د* صالح رضا ملاح وقضايا فى الفن التشكيلى المعاصر	بيرتون بورتر الحياة الكريمة ٢ ج
فرد س* هيس تبسيط الكيمياء	م* هـ كنج واحرون التغذية فى البلدان النامية	جاك كرابس حوبور كتابة التاريخ فى مصر القرن القاسع عشر
جون لويس بوركهارت العادات والتقاليد المصرية من الامثال الشعبية فى عهد محمد على	جورج جاموف بداية بلا نهاية	محمد فؤاد كوبريلى قيام الدولة العثمانية ثونى بار
الان كاسييار التذوق السينمائى	د السيد طه السيد ابو سديره الحرف والصناعات فى مصر الاسلامية منذ الفتح العربى حتى نهاية العصر الفاطمى	التمثيل للسينما والتلفزيون تاجور شين بينج وآخرون مختارات من الاداب الاسيوية
بسامى عبد المعطى التخطيط السياحى فى مصر بين النظرية والتطبيق	جاليليو جاليليه حوار حول النظامين الرئيسيين للكون ٢ ج	ناصر حمرو علوى سفرنامه
ب* مريل وشاندرا ويكراما سينج البذور الكونية	اريك موريس والان هـ الارهاب	نادين جورديم وجريس اوجو وأخرون سقوط المطر وقصص اخرى
حمير حلمى المهندس سراما الشاشة (بين النظرية والتطبيق) للسينما والتلفزيون ٢ ج	سيريل ألفريد الغنائون	احمد محمد الشنوانى كتب غيرت الفكر الانسانى ٧ ج
	ارثر كيستلر القبيلة الثالثة عشرة ويهود اليوم	جان لويس بورى وآخرون فى النقد السينمائى الفرنسى
		العلمانيون فى اوربا بول كولز

كريستيان ساليه السفاريو في السينما الفرنسية	د. ميارد بودج الأزهر في ألف عام	وريس بير براد صناع الخلود
بول وارن خفايا نظام النجم الأمريكي	ستيفن رانسيمان العمليات الصليبية	زيجمونت هبر جماليات فن الاخراج
جورج ستاينر بين تولستوى ودوستويفسكى	هـ. ج. ولز معالم تاريخ الانسانية	حوناثان ريلي سميث الحملة الصليبية الاولى وفكرة الحروب الصليبية
بانك لافرين رومانتيكية والواقعية	حوستاف جروندياوم حضارة الاسلام	الفريد ج. بتلر الكنائس القبطية القديمة في مصر
محمود سامي عطا الله الفيلم التسجيلي	د. عبد الرحمن عبد الله الشيخ رحلة بيروت الى مصر والحجاز	ريتشارد شاخ رواد الفلسفة الحديثة
جوزيف بتس رحلة جوزيف بتس	جلال عبد الفتاح الكون تلك المجهول	ترانيم زرادشت من كتاب الافستا المقدس
ستانلى جيه سولومون انواع الفيلم الاميركي	ارنولد جزل وآخرون الطفل من الخامسة الى العاشرة	الحاج يونس المصري رحلات فارقيما
هارى ب. ناش الحمر والبيض والسود	د. محمد زينهم فن الزجاج	هربرت ثيلر الاتصال والهيمزة الثقافية
جوزيف م. يوجن فن الفرجة على الاقلام	بأدى أونيمود افريقيا - الطريق الآخر	برتراند راسل السلطة والفرد
كريستيان ديروش نويلكود المرأة الفرعونية	برنسلار مالمينوفسكى السحر والعلم والدين	بيتر نيكوللز السينما الخيالية
جوزيف يندهام موجز تاريخ العلم والحضارة في الصين	آدم متز الحضارة الاسلامية	ادوارد ميرى عن النقد السينمائي الاميركي
ليوناردو دالفنشى نظرية التصوير	فانس بكارد انهم يصنعون البشر	نعتالى لويس مصر الرومانية
ت. ج. هـ. جيمز كتوز القراءة	د. عبد الرحمن عبد الله الشيخ يوميات رحلة فاسكو داجاما	ستيفن أوزمنت التاريخ من شتى جوانبه
رودولف فون هايسبرج رحلة الامير ريدولف الى الشرق	ايغرى شاتومان كونفا المتعدد	مونى براح وآخرون السينما العربية من الخليج الى المحيط
مالكوم برانبرى الرواية لليوم	سوندارى الفلسفة الجوهرية	فانس بكارد انهم يصنعون البشر
وليم مارستون رحلة ماركو بولو	مارتن فان كريفلد حرب المستقبل	جابر محمد الجزار ماستريخت
منى بيرين تاريخ اوربا في العصور الوسطى	فرانسيس ج. بروجين الاعلام التطبيقي	ايرار كريم الله من هم المتأثر
ديفيد شفيدر نظرية الادب المعاصر وقراءة الشعر	عبد مباحر البحرية المصرية من محمد على للسكادات	ج. س. فريزر الكاتب الحديث وعالمه
اسحق عظيموف العلم وفاق المستقبل	ج. كارثيل تبسيط المفاهيم الهندسية	سورپال عبد الملك حديث النهر
رونالد دافيد لانج الحكمة والجنون والحماقة	توماس ليبهارت فن الماييم والباقتوميم	من روائع الآداب الهندية
كارل بوبر بحثا عن عالم الفضل	ادوارد دويونو التفكير المتعدد	لوريتو تود مدخل الى علم اللغة
فورمان كلارك الاقتصاد السياسى للعلم والتكنولوجيا	ويليام ه. ماشور ما هي الجيولوجيا	اسحق عظيموف الشمس المتفجرة اسرار السوبر نوا مارجريت دور ما بعد الهداية

روبرت سكراز ولخرون الحاق أدب الخيال العلمي	ونفرد مولر كالت ملكة على مصر	المسيد نصر الدين الص اطلالات على الزمن الألى
ب* من ديفيز المفهوم الحديث للمكان والزمان	جيمس هنرى برستد تاريخ مصر	ممدوح عطية البرنامج الذوى الاسرائيلى والامن القومى العربى
س* موارد اشهر الرحلات الى غرب افريقيا	بول دافيز السلطان الثالث الأخيرة	د* ليوبوسكاليا الحب
و* بارتوك تاريخ التركة فى اسيا الوسطى	جوزيف وهارى فيلتمان دينامية الفيلم	اهلور ايفانس معمل تاريخ الادب الانجليزى
فلاديمير تيمانيانو تاريخ اوربا الشرقية	ج* كوتتنو الحضارة الفيليقية	هيربرت ريد التربية عن طريق الفن
باهريل جاجارسيا ماركيز الجنرال فى المقامة	ارنست كاسبرو فى المعرفة التاريخية	وليام بينز معجم التكنولوجيا الحيوية
هنرى برجسون الفسحة	كت أ - كتشن ومسيس الثانى	الفين ترفلر تحول السلطة ٢ ج
د* مصطفى محمود سليمان الزلال	جان بول سارتر ولخرون مفكرات من المسرح العالمى	يوسف شرارة مشكلات القرن الحادى والعشرين والعلاقات الدولية
م* و* شرنج تسمير المهنس	توزالتد ، وجاك يانسن الطفل المصرى القديم	رولاند جاكسون الكيمياء فى خدمة الانسان
ر* جرنى الحيثيون	فيكولاس ماير شراوك هولز ميجيل دى لبيس القرنان	ت ج* جيمز الحياة أيام الفراغة
ستينو موسكاتى الحضارات السامية	جوسيبى دى لونا موسولينى	جرج كاشمان لماذا تشب الحروب ٢ ج
د* ألبرت حورانى تاريخ الشعوب العربية	الويج جريت موتسارت	حسام الدين زكريا الظنون بروكتر

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

رقم الايداع بدار الكتب ١٣٨٣٢/١٩٩٨

ISBN — 977 — 01 — 5940 — 9

تهدف الهيئة المصرية العامة للكتاب من مشروع الألف كتاب الثاني إلى مواصلة مسيرة المشروع الأول بتكوين مكتبة متكاملة للقارئ العربي، في شتى جوانب المعرفة عن طريق الترجمة والتأليف. وفي هذا الإطار يبدي المشروع اهتماماً كبيراً بالكتب العلمية والمستقبلية، وقد أصدر حتى الآن ٢٩ كتاباً في هذا المجال، من أهمها:

ب. ديفيز، المفهوم الحديث للزمان والمكان

ادوارد فايجينبام، الجيل الخامس للحاسوب

اسحق عظيموف، العلم وآفاق المستقبل

بول ديفيز، الدقائق الثلاث الأخيرة

(انظر القائمة المفصلة داخل الكتاب)

ويضم هذا الكتاب ستة عشر مقالاً علمياً تغطي الأفكار الأساسية للعلم في أهم مجالاته: الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا. كما يعرض المؤلف في أسلوب يسير سلس للعديد من المفاهيم العلمية الحديثة التي عدلت من الكثير من مسلمات الإنسان القديمة التي ألفها على مدى تاريخه، كفكرته عن الزمان والمكان والمادة والطاقة، وغير ذلك. والكتاب بهذا يضع قاعدة راسخة لكل من أراد متابعة الفكر العلمي في ثوبه الحديث.